G. NAZAROV · N. OLEINIK · A. FOMENKOV · I. JUROVSKI

Põllumajanduse elektrifitseerimine



Tagastage raamat õigeaegselt!
Возвратите книгу вовремя!

TRÜ rotaprint 1969. 20000. T. 135.

B-2283

G. I. NAZAROV, N. P. OLEINIK
A. P. FOMENKOV, I. M. JUROVSKI

PÕLLUMAJANDUSE ELEKTRIFITSEERIMINE

NSV Liidu Põllumajandusministeeriumi Põllumajandusliku Kõrgema ja Keskerihariduse Peavalitsuse poolt lubatud kasutada õppevahendina põllumajanduse mehhaniseerimise teaduskondades.

KIRJASTUS „VALGUS" · TALLINN 1970

631.3
P90

Kaane kujundanud E. Tali

Originaali tiitel:

Г. И. Назаров, Н. П. Олейник, А. П. Фоменков, И. М. Юровский. **Основы электропривода и применение электрической энергии в сельском хозяйстве.**

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для факультетов механизации сельского хозяйства.
Издательство «Колос» Москва 1965

УДК 621.3 + 621.315[075.8]

Электрификация сельского хозяйства. Г. И. Назаров, Н. П. Олейник, А. П. Фоменков, И. М. Юровский. 1970.

В книге изложены автоматизированные электропривода и освещены всевозможные виды применения электрической энергии как источника механического движения, тепла и света. Рассмотрены также механические характеристики электрических приводов, принципы и схемы управления ими, вопросы пуска, торможения, реверсирования и регулирования скорости вращение электродвигателей. Приведены сведения по аппаратуре автоматического управления и защиты, даны основы динамики, исследование переходных режимов в электроприводах и т. д. Значительное место отведено автоматическому управлению сельскохозяйственными электрифицированными объектами, включая простейшие поточные линии, которые могут работать по заданной программе.

Учебник написан в соответствии с программой одноименного курса для факультетов механизации сельского хозяйства. Может быть использован также специалистами хозяйств и учащимися техникумов.

Илл. 355. Таб. 63. Библ. 57.

Õpik on kirjutatud vastavalt põllumajanduse mehhaniseerimise instituutide ja teaduskondade samanimelise kursuse programmile. Raamatus on käsitletud automatiseeritud elektriajamite teooriat ning elektrienergia rakendamist põllumajanduses.

Antakse ülevaade elektriajamite mehaanilistest karakteristikutest, nende juhtimissüsteemidest ja põhimõtetest, elektrimootorite käivitamise, pidurdamise, reverseerimise ja pöörlemiskiiruse reguleerimise viisidest.

Erilist tähelepanu osutatakse põllumajanduses kasutatavate elektriseadmete automaatjuhtimise küsimustele.

Vene keelest tõlkinud T. Kreutzberg, M. Liiske, V. Palge, H. Riikoja A. Tammemägi.

Retsenseerinud U. Agur.

2.

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

77114

4—2—4
65—70

EESSÕNA EESTIKEELSELE TÕLKELE

Raamat on koostatud vastavalt põllumajanduse mehhaniseerimise instituutide ja teaduskondade samanimelise õppeaine programmile ning koosneb kahest osast: 1) elektriajami teoreetilised alused, 2) elektrienergia rakendamine põllumajanduses.

Esimene osa annab ülevaate elektriajamite teooriast, valimisest ja arvutamisest ning eri süsteemi elektriajamite rakendatavusest.

Teises osas käsitletakse elektrienergia rakendamist looma- ja taimekasvatuses, töökodades ja abikäitistes.

Eestikeelses tõlkes on täpsustatud SI süsteemi rakendust. Tõlkisid: T. Kreutzberg — XIII ja XVI peatüki; M. Liiske — I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII ja IX peatüki; V. Palge — X ja XI peatüki; A. Tammemägi XII, XIV ja XV peatüki. H. Riikoja tõlkis sissejuhatuse ja ühtlustas kogu käsikirja.

SISSEJUHATUS

Marksismi-leninismi rajajad omistasid elektrienergiale tohutut tähtsust kõigis rahvamajandusharudes. Juba 1850. aastal avaldas K. Marx geniaalseid mõtteid elektrienergia tuleviku kohta. Wilhelm Liebknecht kirjutab oma mälestustes [1] Marxi kohta:

«Peagi kaldus jutt loodusteadusele ja Marx pilkas triumfeerivat Euroopa reaktsiooni, kes arvab, et revolutsioon on lämmatatud, ja ei aima, et loodusteadus valmistab ette uut revolutsiooni. Kuningas Aur, mis eelmisel sajandil maailma ümber kujundas, on troonilt kukutatud ja tema asemele tuleb võrratult revolutsioonilisem jõud — Elektrisäde.»

Ajalugu kinnitas seda Marxi ennustust.

Kõigile on teada V. I. Lenini geniaalne sõnastus: «*Kommunism — see on nõukogude võim pluss kogu maa elektrifitseerimine.*»[2]

«Alles siis, kui meie maa on elektrifitseeritud, kui tööstusele, põllumajandusele ja transpordile on rajatud kaasaegse suurtööstuse tehniline baas, alles siis me võidame lõplikult.»[3]

Veebruaris 1920 võttis Ülevenemaaline Täitevkomitee (ВЦИК) V. I. Lenini ettekande põhjal vastu otsuse koostada elektrifitseerimisel põhinev rahvamajanduse taastamise ja rekonstrueerimise plaan (ГОЭЛРО plaan), mida Lenin nimetas partei teiseks programmiks.

V. I. Lenin rõhutas alati elektrifitseerimise tähtsat osa põllumajanduses. Juba möödunud sajandi lõpul kirjutas ta:

«Me ei hakka pikalt rääkima sellest, millist suurtootmise hiiglavõitu tähendab tulevikus (osalt juba tähendabki) elektrotehnika tarvituselevõtt põllumajanduses — see asjaolu on liiga ilmne, et seda rõhutada.»[4]

Pärast Suure Sotsialistliku Oktoobrirevolutsiooni võitu, kavandades teid NSV Liidu rahvamajanduse sotsialistlikuks ümberkorraldamiseks, määras V. I. Lenin sotsialistlikule põllumajandusele ülemineku tee kindlaks järgmiselt:

«väiketalupoeg
kolhoosid
elektrifitseerimine.»[5]

V. I. Lenini mõtteid ellu rakendades on Kommunistlik Partei NSV Liidu rahvamajanduse arendamisel pööranud elektrifitseerimise küsimustele tohutu suurt tähelepanu.

---

[1] W. Liebknecht. Väljavõtteid mälestustest Marxi kohta. — Mälestusi Marxist ja Engelsist, ERK, Tallinn, 1961, lk. 98.
[2] V. I. Lenin. Teosed, 31. köide, ERK, Tallinn, 1955, lk. 477.
[3] V. I. Lenin. Teosed, 31. köide, ERK, Tallinn, 1955, lk. 478.
[4] V. I. Lenin. Teosed, 5. köide, ERK, Tallinn, 1955, lk. 120.
[5] V. I. Lenin. Teosed, 32. köide, ERK, Tallinn, 1955, lk. 298.

Tsaristliku Venemaa elektrijaamade koguvõimsus oli 1,1 GW (1,1 milj. kW), NSV Liidus aga ulatus see enne Suurt Isamaasõda juba 11 GW-ni (11 milj. kW), elektrienergia toodang aga 173 000 TJ-ni (48 TWh ehk mljr. kWh) aastas.

Saksa fašistlike anastajate reeturlik kallaletung tekitas Nõukogude Liidu energeetikamajandusele küll ränka kahju, kuid juba ajavahemikul 1942—1946 taastati elektrijaamu koguvõimsusega 1,6 GW (1,6 milj. kW).

Sõjajärgsete viisaastakute ja seitseaastaku esimese viie aasta 1959... ...1965) jooksul ehitati elektrijaamu väga intensiivselt. 1964. aastal toodeti elektrienergiat juba 1,65 milj. TJ (459 TWh ehk 459 mljr. kWh).

Meie kodumaa elektrifitseerimisele omistatakse erakordset tähtsust. NLKP XXII kongressil vastuvõetud Nõukogude Liidu Kommunistliku Partei programmis on märgitud:

«Elektrifitseerimine, mis on kommunistliku ühiskonna majanduse rajamise peateljeks, etendab juhtivat osa kõigi rahvamajandusharude arenemises, kogu tänapäeva tehnilises progressis.»

Elektrienergia aastatoodang tuleb tõsta 1970. aastaks 3,24... 3,6 milj. TJ-ni (900... 1000 TWh ehk 900... 1000 mljr. kWh) ja 1980. aastaks 9,72... 10,8 milj. TJ (2700... 3000 TWh ehk 2700... 3000 milj. kWh). Niisugune tormiline elektrienergia toodangu kasv loob avarad võimalused põllumajanduse elektrifitseerimiseks.

Käesoleval ajal iseloomustab põllumajanduse elektrifitseerimise arengut laialdane elektrimootorite kasutuselevõtt põllumajanduslikus tootmises. Näiteks 1951. aastal töötas neid üldse 153 000 koguvõimsusega 766 MW (766 000 kW), 1963. aasta lõpuks oli aga elektrimootoreid põllumajanduses juba 1 388 000, kusjuures nende võimsus oli kasvanud 6,5 GW-le (6,5 milj. kW).

Tohutu kiirusega kasvab elektrienergia tarbimine põllumajanduses: 1940. aastal 1530 TJ (425 GWh ehk 425 milj. kWh), 1953. aastal 9871 TJ (2,742 TWh ehk 2742 milj. kWh), 1963. aastal aga juba üle 61 200 TJ (17 TWh ehk 17 mljr. kWh).

Põllumajanduse kiire areng võimaldab kolhoosidel ja sovhoosidel teha edusamme tootmisprotsesside kompleksel mehhaniseerimisel ja elektrifitseerimisel koos vooltootmise ja automaatikavahendite ulatusliku rakendamisega.

Kompleksne elektrifitseerimine eeldab elektrienergia igakülgset rakendamist kõige erinevamatel eesmärkidel.

Elektriajamis on elektrienergia mehaanilise liikumise allikaks tootmisprotsesside elektromehhaniseerimisel ja automatiseerimisel looma- ja taimekasvatuses, töökodades ja mitmesugustes abikäitistes, kus põllumajandussaadusi esmastöödeldakse ja säilitatakse.

Loomakasvatuses elektrifitseeritakse veevarustus, lüps, söödavalmistus ja -jaotus, sõnnikukoristus ja veod. Üha rohkem tekib elektromehhaniseeritud lindlaid, kus söödavalmistus ja -jaotus, sõnnikukoristus ja munade kogumine on automatiseeritud. Järge ootavad automatiseeritud veiselaudad ja sigalad.

Taimekasvatuses elektrifitseeritakse teraviljapuhastus- ja -kuivatuspunkte, viljapeksuväljakuid, niisutusseadmeid ning liikuvaid masinaid ja agregaate.

Häid tehnilis-majanduslikke tulemusi pakuvad kolhoosides ja sovhoosides vooltehnoloogiaga ja osalt automatiseeritud teraviljapuhastus- ning -kuivatuspunktid koos viljahoidlaga. Töökulu sääst ulatub neis 8... 10 inimtunnini tonni vilja kohta.

Rohkesti tarbivad elektrienergiat niisutusseadmed köögi- ja puuviljaning marjaaedade kastmiseks.

Taimekasvatuse liikuvtööde elektromehhaniseerimise võimalusi alles uuritakse.

Elektritraktorite ja -kombainide katsetamine tööolukorras on näidanud, et põllutöid saab nendega teha, kuid manööverdatavuse ja majanduslike andmete poolest on nad seni diiseltraktoritest tunduvalt halvemad.

Püüe kasutada elektrienergia eeliseid ka liikuvtööde tegemisel avaldub praegu diisel-elektriagregaatide teaduslikul katsetamisel.

Nende agregaatide aluseks on soojustraktor. Sellele on paigaldatud jõuvõllilt käitatav elektrigeneraator. Masinate põhilisi tööorganeid või sõlmi käitatakse sellest generaatorist toidetavate eraldiste elektrimootoritega.

Keerukad mehaanilised transmissioonid (rihm- ja hammasajamid, kardaanvõllid jms.) asendatakse elektritransmissiooniga, mis koosneb generaatorist, juhtmestikust ja elektrimootoritest.

Põhiliselt uue lahenduse võiksid liikuvtööde elektromehhaniseerimisel anda elektritraktorid, mida toidetakse kütuselementidest. Viimaste kallal töötavad käesoleval ajal nii meie kui ka välismaa teadlased. Kütuselementides muundub keemiline energia katalüsaatorite manulusel vahetult elektrienergiaks, tagades kasuteguri 0,7 ... 0,8. Nende tööde edukus tõotab täielikku pööret põllumajanduse energeetikas.

Kolhooside ja sovhooside töökodades ning abikäitistes osutub elektriajam nii energeetiliselt kui ka tootmisalaselt seisukohalt kõige otstarbekamaks ajamiks, mis suurendab tööviljakust ja seadmete ärakasutatavust, tagades automaatika ulatuslikku rakendatavust tootmisprotsessi juhtimisel, kontrollimisel ja nõutud parameetrite reguleerimisel.

Põllumajandus vajab suurel hulgal soojust tehnika ja elanikkonna elukondlike vajaduste rahuldamiseks. Elektrisoojendusseadmeist kasutatatakse mitmesuguseid veesoojendeid nõude pesemiseks ja lehmade udarate puhastamiseks vajaliku sooja vee saamiseks, söödaauruteid ning soojussalvesteid. Elektrikalorifeerseadmeid kasutatakse loomakasvatushoonete sisekliima reguleerimiseks.

Rohkesti tarbitakse elektrisoojust linnukasvatuses, kus elektrienergiat rakendatakse munade kunstlikuks hautamiseks inkubaatoreis ja tibude soojendamiseks võõrasemadega.

Viimasel ajal hakatakse elektersoojendust üha rohkem rakendama lavades ja kasvuhoonetes.

Elektrienergiat rakendatakse põllumajandussaaduste kõrgsageduskuivatamiseks, elekterkeevituseks, traktorite ja põllumajandusmasinate remontimisel nende osade taastamiseks pealesulatuse teel ja induktsioonkuumutuseks.

Tähtsat osa etendab elektervalgustus nii elukondlikel kui ka tootmise eesmärkidel.

Elektrienergiat tarbitakse ka ultraviolett- ja infrapunase kiirguse allikates.

Ultraviolettkiirgust rakendatakse nii luminestsentsanalüüsis mitmesuguste saaduste kvaliteedi kindlakstegemisel, rahhiidi vastu võitlemise vahendina kui ka noorloomade ja -lindude kasvustimulaatorina, samuti õhu, vee ja nõude steriliseerimiseks.

Infrapunast kiirgust rakendatakse soojendamisel, mitmesuguste materjalide ja saaduste kuivatamisel, teravilja, kottide ja loomakasvatusruumide desinsekteerimisel.

Kõik need põllumajanduslikus tootmises elektrienergia rakendamisega seotud küsimused määravadki põllumajanduse mehhaniseerimise instituutide ja teaduskondade õppeaine «Elektriajam ja elektrienergia rakendamine põllumajanduses» sisu.

Õppeaine koosneb kahest osast:

elektriajami teoreetilised alused,
elektrienergia rakendamine põllumajanduses.

Esimese osa ülesanne on õppida tundma elektrimootorist, ülekandemehhanismist ja juhtimisaparatuurist koosneva kompleksi tööd koostöös ja lahutamatus seoses töömasinaga ning tootmistehnloogiaga. Lühidalt avaldub see seos järgmises.

Töömasin või masinate süsteem, täites neile tehnoloogias ettenähtud ülesandeid, esitavad teatud nõudeid oma energeetikakeskusele (elektrimootorile), mida viimane peab täitma võimalikult täiuslikult — kõige otstarbekamalt, lihtsamalt ja majanduslikumalt.

Elektrimootor, asendades teist tüüpi mootoreid, esitab omakorda töömasinale eripäraseid nõudeid, mille tõttu töömasina ilme sageli oluliselt muutub.

Teise osa ülesanne on õppida tundma elektriseadmeid, mis on määratud elektrienergia rakendamiseks mitmesugustes põllumajandusharudes nende ehituse ja tööpõhimõtte seisukohalt, nende arvutamise viise ja õige käsitsemise nõudeid.

Vastavalt kinnitatud programmile esitatakse selles õppeaines automatiseeritud elektriajami teoreetilised alused ja käsitletakse kõige iseloomulikumaid näiteid elektrienergia rakendatavusest põllumajanduslikus tootmises mehaanilise liikumise, soojuse ja mitmesuguste kiirguste allikana.

Olulist tähelepanu osutatakse elektriajamite mehaanilistele tunnusjoontele, elektrimootorite käivitamise, pidurdamise, reverseerimise ja kiiruse reguleerimise küsimustele, elektriajamite mitteautomaatse ja automaatse juhtimise põhimõtetele ja lülitustele, samuti automaatjuhtimise ning kaitseaparatuurile.

Esitatakse elektriajamite dünaamika ja siirdenähtuste alused, elektriajami võimsuse ning teiste andmete arvutamise meetodid, arvestades mitmesuguseid töötingimusi.

Aine õppemeetod on täiesti konkreetne. Teoreetiline osa on nende eesrindlike kogemuste teaduslik üldistus, mis on kogunenud põllumajanduses elektrienergia rakendamisel ja automatiseeritud elektriajami kasutamisel igasugustes majandusharudes.

Õppeaine ülesanne on teha tulevastele sotsialistliku põllumajanduse mehhaniseerimisinseneridele omaseks meetodid, mida on vaja tunda elektrienergia rakendamise kõige otstarbekamate viiside valikul, ellurakendamisel ja seadmete õigel hooldamisel. Need meetodid tagavad mitte ainult ajakohaste elektriseadmete oskusliku käsitsemise, vaid ka elektrienergia rakendusalade avardumise, seda eriti vooltehnoloogia elektromehhaniseerimise ja tootmisprotsesside automatiseerimise suunas.

Autorid avaldavad sügavat tänu professor V. N. Kujanitsale ning dotsentidele V. A. Šustovile, S. P. Bondarenkole, I. I. Martinenkole ja V. S. Oleinikule väärtuslike näpunäidete ja nõuannete eest raamatu sisu täiustamisel, samuti dotsent A. M. Musinile tema poolt X peatüki § 3 jaoks esitatud materjali eest.

Üksikute peatükkide autorid on: G. I. Nazarov — sissejuhatus, I, II, III, IV, V, VI ja IX peatükk; I. M. Jurovski — VII, VIII peatükk, XI peatüki § 1, XII peatüki § 1, XIV ja XVI peatükk; A. P. Fomenkov — X peatükk, XII peatüki § 2, XIII ja XV peatükk; N. P. Oleinik — XI peatüki § 2 ja 3, XII peatüki § 3, 4 ja 5. Tiiteltoimetaja V. I. Lenini nimelise Üleliidulise Põllumajandusteaduste Akadeemia (ВАСХНИЛ) korrespondentliige tehnikadoktor G. I. Nazarov.

ESIMENE OSA

ELEKTRIAJAMI TEOREETILISED ALUSED

I PEATÜKK

ELEKTRIAJAMITE ARENG JA NENDE ÜLDISELOOMUSTUS

§ 1. Elektriajamite arengu põhisuunad

Esimesed püüdlused saada mehaanilist liikumist elektrivoolu abil ulatuvad aastasse 1821, mil Faraday'l õnnestus panna magnet pöörlema ümber sirge vooluga juhtme ja vooluga juhe ümber magneti, luues sellega tulevase elektrimootori laboratoorse mudeli.

Esimeste elektrimootorite kujundusele ja põhimõttele vajutas oma pitseri aurumasin. Seetõttu ilmusidki XIX sajandi 30-ndail aastail edasi-tagasi-liikumisega elektrimootorid.

Aastal 1835 lõi vene akadeemik Jakobi omapärase ehitusega pöörlevliikuva elektrimootori, mida kasutati ka praktiliselt. Paati paigaldatud mootor pani pöörlema sõurattad, mis panid Neeval paadi liikuma kiirusega 0,7 m/s (2,5 km/h).

Ehitusviisi puudulikkuse tõttu see elektriajam edu ei saavutanud. Pealegi olid teda toitvad galvaanipatareid ebamajanduslikud, sest nende energia oli käsitsitööst 2 korda kallim. Ent siiski oli sellel elektriajamil suur tähtsus: oli tõestatud reaalne elektri rakendamise võimalus mehaanilise liikumise saamiseks tööstuslikel eesmärkidel.

Elektriajamite laialdaseks praktiliseks rakendamiseks oli vaja täiuslikumaid elektrimootoreid ja elektrienergia saamise viise. Selleni jõuti XIX sajandi lõpul.

Eriti suur tähtsus oli kolmefaasilise elektrimootori leiutamisel. Kolmefaasilise elektrimootori leiutamise ja esimese ehitusviisi väljatöötamise au kuulub vene insenerile Dolivo-Dobrovolskile, kes 1891. a. lõi mootori, mille põhijooned on tänapäevani samaks jäänud.

Asünkroonmootori loomine (pärast elektrienergia transformeerimise põhimõtte avastamist) andis tõuke tööstuse, transpordi ja põllumajanduse elektrifitseerimise võimsale arengule.

Elektriajami areng kulges teed mööda, mis lähendas elektrimootorit kõige tihedamini töömasinale ning võimaldas vabaneda kohmakatest ja keerukatest transmissioonidest, mis sundisid ka tehnoloogiliste protsesside eri võtteid sooritama transmissiooni paiknemise kohas.

Käesoleval ajal tungivad elektrimootorid juba töömasina koostisse, võttes enesele mõnede täiturmehhanismide ülesanded (rullmootorid valtspinkide rullteedes, segmentstaatoriga mootor insener Fridkini elektrikraasimismasinas, välisrootoriga mootor tehnikakandidaat Grebennikovi elektripurustis jt.).

Kaasaegsele elekterkäitusele on kõige iseloomulikum mitmesuguste poolautomaatsete ja automaatsete juhtimislülituste rakendamine.

Sõltuvalt tehnoloogiast või antud programmi järgi juurutatakse elektrimootorite eemaltjuhtimist (distantsjuhtimist) ja elektrimootorite

automaatset lülitamist mitmesuguste juhtimisseadmetega tänapäeval kõigis tööstusharudes.

Agregaatpinkide ja vooluliinide juurutamise kõrval rakendatakse tööstuses üha enam nn. reflektoorset automaatikat, mis võimaldab ilma tõölise osavõtuta ja erakordse täpsusega sooritada paljusid töövõtteid sõltuvalt tootmisprotsessi kulgemisest. Sellise automaatika näidetena võib esitada järgnevad:

1) lõikekiiruse muutmine sõltuvalt töödeldava toote mõõtmete pidevast muutumisest või eemaldatava laastu ristlõikest;

2) mootori seiskamine ja lõiketera või lihvimisketta eemalejuhtimine, kui toode on omandanud ettenähtud mõõtmed;

3) osade töötlemine mudeli, joonise või etteantud programmi järgi.

Elekterkäitus põllumajanduses on sootuks omapärane elekterkäituse haru.

Selle iseärasusteks on käitatavate masinate erakordselt suur mitmekesisus, mehaanilise energia tarbijate hajutatus, tööde hooajalisus, paljude masinate elektriliste ja mehaaniliste seadmete väike kasutegur ning põllumajanduse elektrijaamade ja alajaamade väike võimsus.

Koos elektriajami arenguga tekkis ka vastav teadus. Elektriajamit käsitlev õppeaine kui teaduslik eriaine kujunes võrdlemisi hiljuti (aastail 1921 . . . 1922).

Esikoht selle uue teadusliku eriaine väljaarendamises kuulub nõukogude teadlastele.

Selle eriaine rajasid Nõukogude Liidus professor S. A. Rinkevitš, kelle esimene õpik ilmus juba 1925. a., akadeemik M. G. Jevreinov, professorid V. K. Popov, R. L. Aronov, S. A. Press, L. B. Geiler, A. T. Golovan, V. B. Umanski, A. J. Slonim jt., kes panid ühtlasi aluse vastavale nõukogude koolkonnale.

Aastal 1933 püüti põllumajanduse elektriajamit esmakordselt käsitleda süstematiseeritud kujul. Selle tulemuseks oli Moskva Põllumajanduse Mehhaniseerimise ja Elektrifitseerimise Instituudi põllumajanduses elektri rakendamise kateedri kollektiivse teose «Põllumajanduse elektrifitseerimine» I köite ilmumine prof. M. G. Jevreinovi toimetusel, mille jao «Elektriajam» on kirjutanud prof. M. G. Jevreinov ise.

Aastal 1938 ilmus esimene õpik (autor G. I. Nazarov) õppeaine «Põllumajanduse elektriajam» õppimiseks põllumajanduse mehhaniseerimise teaduskondades. Teine trükk ilmus 1949. a.

1957. a. ilmus põllumajanduse elektrifitseerimise teaduskondadele V. I. Popovi õpik «Elektriajam ja automaatika».

§ 2. Mõiste «elektriajam» määratelu

«Iga arenenud kogumasin [entwickelte Maschinerie] koosneb kolmest oluliselt erinevast osast; jõumasinast, ülekandemehhanismist ja lõpuks masintööriistast ehk töömasinast.» [1]

Kaasaegses kirjanduses nimetatakse tavaliselt seda arenenud kogumasinat, mis koosneb mootorist, transmissioonist ja töömasinast, *masinseadmeks* ehk *tootmisagregaadiks*

Masinseadme kahe esimese lüli ülesandeks on töömasina või täiturmehhanismi liikumapanek. Neid kahte masinseadme lüli — energeetilist osa (mootormehhanismi või lihtsalt mootorit koos rohkem või vähem arenenud juhtimissüsteemiga) ja transmissiooni (vaheülekandemehhanismi

[1] K. Marx. Kapital, I köide, ERK, Tallinn, 1953, lk. 323.

— võlle, rihmu, rihmarattaid, hammasrattaid, ekstsentrikuid, sidureid jne.) — nimetatakse tavaliselt *ajamiks*.

Tehnika arenedes ajami üldine mõiste täpsustub ja selle üksikud eri kujud omandavad iseseisva, ainult neile omase määratelu.

Kõige olulisemad tunnused, mille põhjal eristatakse üksikuid ajamite rühmi ja liike, on mehaanilise energia allika liik, mootori ja töömasina vahelise seose iseloom ning ajami juhtimissüsteem.

Mootori liigi järgi jagunevad ajamid järgmistesse suurtesse rühmadesse: käsi-, hobu- ja mehaanilised ajamid (tuulemootoriga, vesiratta või veeturbiiniga, aurumasinaga, sisepõlemismootoriga või elektrimootoriga).

Teised tunnused määravad ajamite üksikasjalikuma eristuse, mis on saavutanud laialdase arenduse elektriajamites.

Mida nimetatakse elektriajamiks? *Elektriajamiks nimetatakse masinseadme ehk tootmisagregaadi osa, mis koosneb elektrimootorist, juhtimisaparatuurist ning ülekandemehhanismist elektrimootori ja töömasina vahel.*

Elektrimootoriga käitatavate masinate arvu järgi või ühel tootmisagregaadil olevate elektrimootorite arvu järgi jagunevad elektriajamid järgmistesse rühmadesse:

a) transmissioonajamid,
b) üksikajamid,
c) mitmemootorilised ajamid.

Need rühmad jaotatakse omakorda mitmesuguste tunnuste järgi alarühmadeks ja eri liikideks.

Transmissioonajamid jaotatakse ühistransmissioon-elektriajamiks ja rühmaelektriajamiks; üksikajamid — liht-üksikelektriajamiks ja individuaalelektriajamiks; mitmemootorilised — mitmemootoriliseks lihtelektriajamiks, mitmemootoriliseks indviduaalelektriajamiks ja mitmemootoriliseks agregaatelektriajamiks.

Seoses automatiseerimise laialdase arenguga on viimasel ajal hakatud elektriajameid liigitama *automatiseeritud* ja *automatiseerimata* elektriajamiteks.

Elektrimootorite endi omaduste järgi, mis vastavad tehnoloogia teatud nõuetele, jagunevad elektriajamid *reguleeritavateks* ja *mittereguleeritavateks*.

Allpool käsitletakse elektriajamite põhitüüpe.

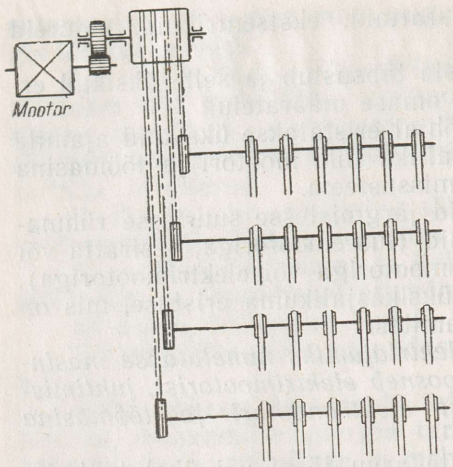
§ 3. Transmissioonelektriajamid

Ühistransmissioon-elektriajam. *Ühistransmissioon-elektriajam on selline ajam, kus elektrimootorilt antakse liikumine (köite või rihmade kaudu) korrustel või töökohtades olevatele peatransmissioonvõllidele.*

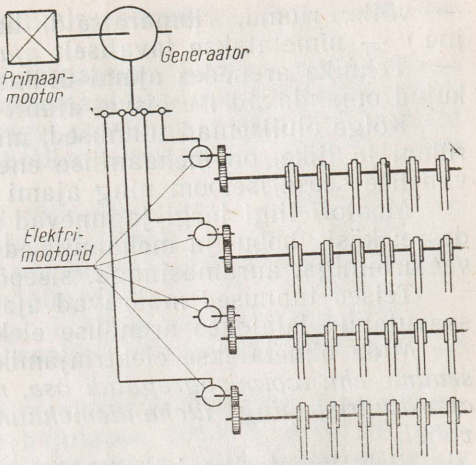
Ühistransmissioon-elektriajami eelkäijaks on mehaaniline transmissioonajam, mida kasutati siis, kui jõumasinaks oli aurumasin. See võeti kasutusele väikeste aurumasinate ebamajanduslikkuse tõttu, samuti sellepärast, et üksiku töömasina või isegi töömasinate väikese rühma ajamina on aurumasina või hüdroturbiini kasutamine ebamugav.

Ühistransmissioonajami kasutamisega koondus mehaanilise energia tootmine omaette jõutsehhi, kust energiat jaotati köis- või rihmülekannetega (joon. 1). Harilikult oli igal korrusel peatransmissioonvõll, millelt anti liikumine üle rühmatransmissioonvõllile või üksikutele masinatele.

Rühmaelektriajam. *Rühmaelektriajam on selline ajam, mis elektrimootorilt annab liikumise üle töömasinate rühmale.*



Joon. 1. Ühistransmissioon-elektriajami skeem



Joon. 2. Rühmaelektriajami skeem

Rühmaelektriajam (joon. 2) on transmissioonajamiga võrreldes kahtlemata samm edasi, kuid ka selle puhul ei kasutata ära kaugeltki kõiki võimalusi, mida elektrienergia liikumapaneva jõuna pakub. Rühmaelektriajamil on transmissioonajami peamised puudused alles jäänud.

Tänapäeval pakub rühmaelektriajam ja veel enam ühistransmissioon-elektriajam tööstustöötajatele ainult ajaloolist huvi, sest nüüdisaja tööstus areneb mitmesuguste üksikajamite ja mitmemootorilise elektriajami kasutamise suunas. Põllumajanduses võib rühmaelektriajamit kohata veel mõnel pool väikestes töökodades, loomafarmide söödaköökides, veskites, tellisetehastes jm.

Rühmaelektriajamite hulka võib arvata ka elektrikombaini ajami, mille üksainus elektrimootor paneb rihm-, kett- või hammasülekannete kaudu liikuma terve üksikmehhanismide süsteemi.

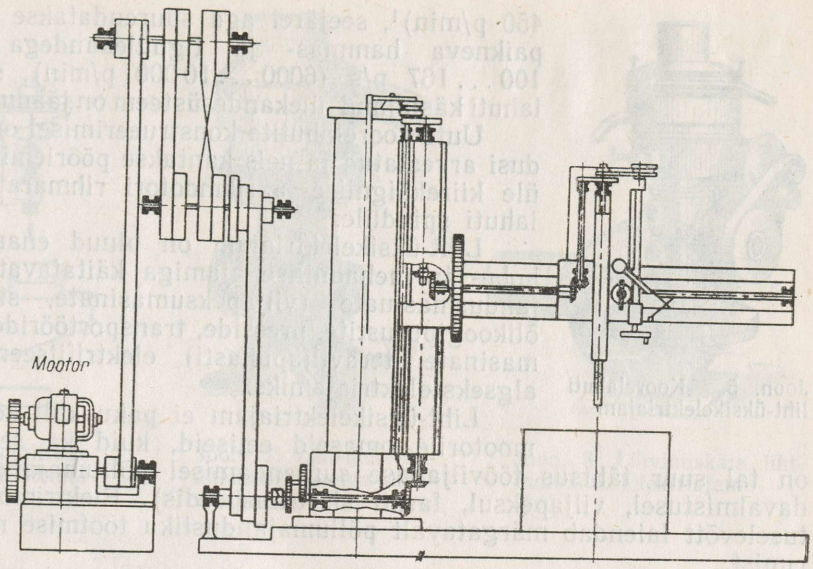
§ 4. Üksikelektriajamid

Üksikelektriajamiks üldse nimetatakse sellist ajamit, mis iga masinat või täiturmehhanismi käitab omaette elektrimootoriga.

Liht-üksikelektriajam. *Liht-üksikelektriajam on selline ajam, mille elektrimootor paigutatakse töömasinast eraldi või on viimasega mehaaniliselt sobitatud ilma ehitust muutmata.*

Liht-üksikelektriajami näitena võib mainida esialgset radiaalpuurpingi (vaheajamiga) ajamit (joon. 3). Siin on transmissioonvõll ja ülekanne sellelt ära jäetud, tööpink ja vaheajam aga on jäänud endiseks. Tööpingi juhtimine on mehaaniline. Tööpinki käivitatakse ja seisatakse rihma nihutamisega tühikäigu-rihmarattalt töörattale ja tagasi. Pöörlemissuunda muudetakse sirge ja ristuva rihma sisselülitamisega. Energiakadu on selles ajamis mõnevõrra väiksem kui transmissioonajamis, kuid säilinud on siiski keerukad ülekanded mootorilt tööpingile ja selle töö-organitele, milles ikkagi tekib suur energiakadu.

Teiste liht-üksikelektriajami näidetena olgu veel mainitud triööri ja

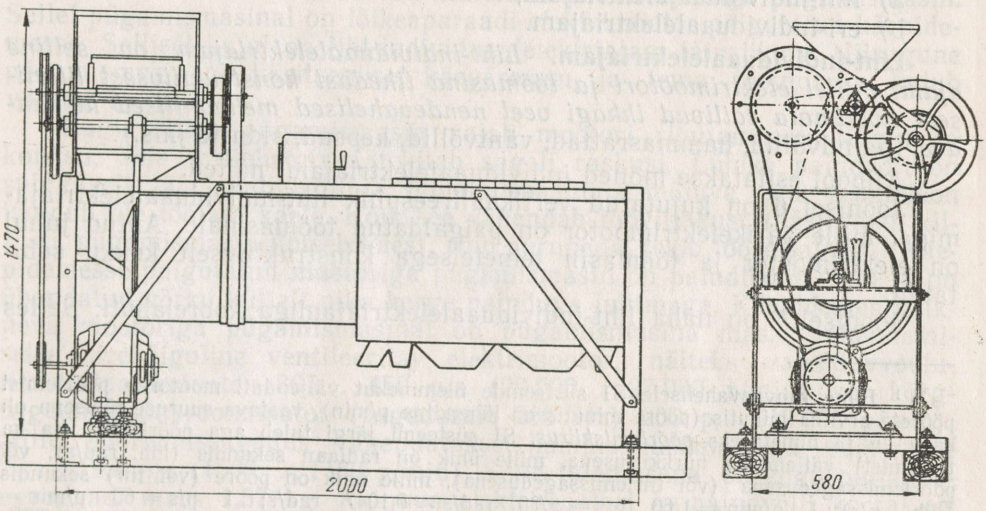


Joon. 3. Puurpingi (vaheajamiga) liht-üksikelektriajam

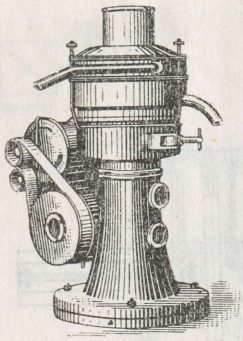
koorelahuti ajameid töömasinale paigaldatud elektrimootoriga (joon. 4 ja 5).

Need masinad töötasid varem käsiajamiga. Elektrimootor on paigaldatud eritoele, kusjuures ülekandesüsteem on sama mis käsiajami puhul.

On ilmne, et selline elektriajami konstruktsioon, ehkki erinev joonisel 3 esitatust, ei ole kaugeltki veel täiuslik. Koorelahuti kiirekäigulise mehhanismi käitamiseks pole kasutatud ära elektrimootori tähtsat omapära — suurt pöörlemissagedust. Elektrimootori pöörlemissagedust vähendatakse algul koorelahuti rihmarattal umbes 6,67 ... 7,5 p/s (400 ...



Joon. 4. Triööri liht-üksikelektriajam



Joon. 5. Koorelahuti liht-üksikelektriajam

450 p/min)[1], seejärel aga suurendatakse seda keres paikneva hammas- ja tiguülekandega ligikaudu 100 ... 167 p/s (6000 ... 10 000 p/min), sest koorelahuti käsiajami ülekandesüsteem on jäänud endiseks.

Uute koorelahutite konstrueerimisel on neid puudusi arvestatud ja neis kantakse pöörlemine vahetult üle kiirekäigulise äärikmootori rihmarattalt koorelahuti spindlile.

Liht-üksikelektriajam on olnud enamiku käsi-, hobu- ja mehaanilise ajamiga käitatavate põllumajandusmasinate (viljapeksumasinate, silopurustite, õlikoogipurustite, presside, transportööride, laadimismasinate, teraviljapuhasti) elektrifitseerimisel esialgseks elektriajamiks.

Liht-üksikelektriajam ei paku küll kõiki elektrimootorile omaseid eeliseid, kuid ka sellisel kujul on tal suur tähtsus tööviljakuse suurendamisel põllumajanduses (söödavalmistusel, viljapeksul, farmi sisetranspordis). Elektrimootori kasutuselevõtt laiendab märgatavalt põllumajandusliku tootmise mehhaniseerimist.

Elektrimootori sellised väärtuslikud omadused nagu pöörlemissageduse suurtes piirides reguleeritavus, ehituse kompaktsus ja energia juurdeandmise lihtsus võimaldavad paigutada elektrimootori töömasinale üsna lähedale ja liita nad ühtseks konstruktiivseks tervikuks. Selline liitmine vähendab vaheülekannete arvu ja mõnikord võimaldab neist isegi täielikult vabaneda. Selle tulemusena muutuvad töömasinad liikuvamateks ja paindlikumateks. Lisaks sellele väheneb nende mass ja suureneb kasutegur.

Kõik see avaldub individuaalelektriajami kasutamisel.

Individuaalelektriajam. *Individuaalelektriajam pole midagi muud kui töömasina konstruktsiooni muutmise teel temale eriliselt sobitatud üksikajam.*

Ehituse ja kujunduse mõttes on individuaalelektriajameid väga mitmesugust liiki, kuid ajami põhilisema osa, s. o. ülekandemehhanismi järgi jagunevad nad kahte liiki:

a) liht-individuaalelektriajam,
b) eri-individuaalelektriajam.

Liht-individuaalelektriajam. *Liht-individuaalelektriajam on selline ajam, millel elektrimootori ja töömasina tihedast konstruktiivsest liitmisest hoolimata säilivad ikkagi veel nendevahelised mehaanilised ülekanded* (paindvõllid, hammasrattad, väntvõllid, kepsud, sidurid jms.).

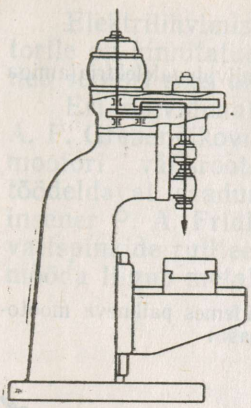
Allpool esitatakse mõned individuaalelektriajami näited.

Joonisel 6 on kujutatud vertikaalfreespink liht-individuaalelektriajamiga, mille äärikelektrimootor on paigaldatud töömasinale. Antud juhul on elektrimootor ja töömasin teineteisega konstruktiivselt kokku sobitatud.

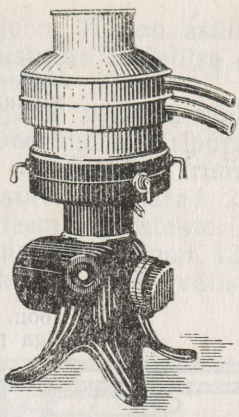
Joonisel 7 on näha liht-individuaalelektriajamiga koorelahuti. Selles

---

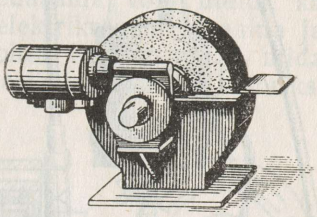
[1] Enne rahvusvahelisele SI süsteemile üleminekut väljendati mootorite pöörlemist pöörete arvuna minutis (pööre minutis on lühendina p/min), vastava suuruse tähisena oli käibel n ja nimetuseks *pöörlemiskiirus*. SI süsteemi järgi tuleb aga pöörlemist (ja ka tiirlemist) väljendada nurkkiirusena, mille ühik on radiaan sekundis (lüh. rad/s), või pöörlemissagedusena (või tiirlemissagedusena), mille ühik on pööre (või tiir) sekundis (lüh. p/s) : 1 p/min = 1/60 p/s = π/30 rad/s $\approx$ 0,1047 rad/s; 1 p/s = 60 p/min = = 2π rad/s $\approx$ 6,28 rad/s; 1 rad/s = 30/π p/min = 1/2π p/s $\approx$ 9,551 p/min $\approx$ 0,159 p/s. *Tõlk.*



Joon. 6. Vertikaalfreespingi liht-individuaalelektriajam



Joon. 7. Liht-individuaalelektriajamiga koorelahuti



Joon. 8. Lihvimiskäia liht-individuaalelektriajam

on elektrimootor ja ülekandesüsteem liidetud töömasinaga konstruktiivselt ühtseks tervikuks. Koorelahuti kere on ühtlasi ka mootori kereks.

Joonisel 8 on kujutatud liht-individuaalelektriajamiga lihvimiskäi. Massi vähendamiseks on sel kiirekäiguline reduktorelektrimootor.

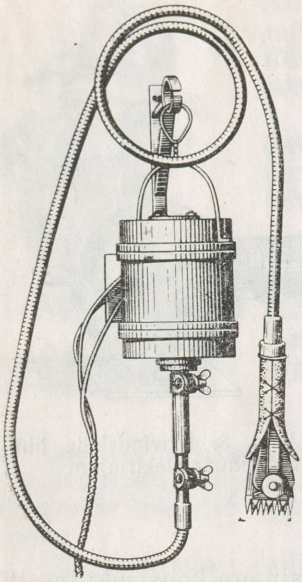
Liht-individuaalelektriajamid on väga mitmesugused. Nad arenevad pidevalt esialgsetest ebatäiuslikest, mõnikord liht-üksikelektriajamist raskesti eristatavatest täiuslikumateks, kusjuures elektrimootori ja töömasina seos on üha tihedam.

Vaatleme liht-individuaalelektriajami arengut näiteks lambapügamismasina ajami arengu põhjal.

Joonisel 9 on kujutatud pügamismasin, kus liikumine antakse elektrimootorilt lõikeaparaadile paindvõlliga. Selle elektriajami võime arvata liht-individuaalelektriajamite hulka, sest see on rippuvast elektrimootorist ja paindvõllist koosnev eriehitusega agregaat.

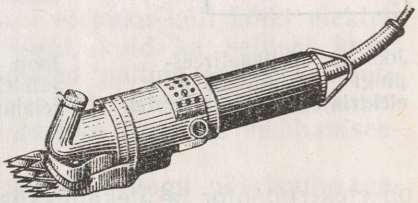
Joonisel 10 on esitatud liht-individuaalelektriajamiga pügamismasin. Sellel pügamismasinal on lõikeaparaadi elektrimootor paigutatud käepidemesse. Sellisel kujul on liht-individuaalelektriajam täiuslikum. Niisugune pügamismasin on käsitsemisel käepärasem ja tema tootmiseks kulub vähem metalli.

Paindvõlliga pügamismasin vajab mootori riputamiseks tingimata konksu, mis väliolukorras tekitab sageli raskusi. Lühike paindvõll on suhteliselt jäik. Paindvõlliga pügamismasinale mõjuva jõu reaktsioon kandub üle töötaja käele. Kõik see vähendab tööviljakust (käsi väsib kiiresti, pügamismasin libiseb käest, võib puruneda, tekib tööseisakuid). Käepidemesse paigutatud mootoriga pügamismasin on paindlikum, sest ta on ühendatud võrku küllalt pika kerge painduva juhtmega. Käepidemes paikneva mootoriga pügamismasinal on pügamismasina massi vähendamiseks kiirekäiguline ventileeritav elektrimootor, näiteks vahelduvvoolukommutaatormootor 367 ... 450 p/s (22 000 ... 27 000 p/min) või kõrgsagedus-asünkroonmootor (sagedusele 200 Hz) 200 p/s (12 000 p/min), mille pöörlemissagedus vähendatakse hammasülekannetega väärtusele 25 ... 19,8 p/s (1500 ... 1180 p/min). Selle tulemusena on kogu pügamisagregaadi mass 1,57 kg. Rippuva elektrimootori ja paindvõlli korral on mass 16,22 kg.



Joon. 9. Liht-individuaalelektriajamiga pügamismasin

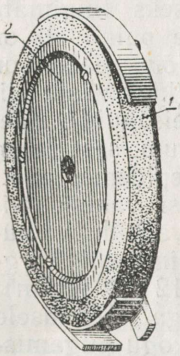
Joon. 10. Käepidemes paikneva mootoriga pügamismasin



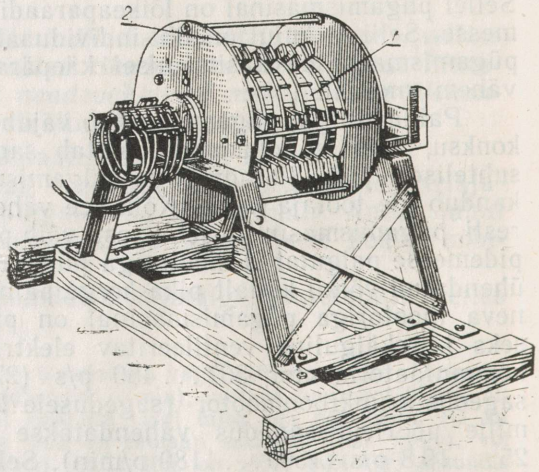
Eri-individuaalelektriajam. *Eri-individuaalelektriajam on selline ajam, millel mehaanilised ülekanded täielikult puuduvad ja elektrimootori üksikud osad (võll, rootor) moodustavad täiturmehhanismiga ühtse terviku, mõnel juhul aga täidavad ka tööorgani ülesandeid.*

Eri-individuaalelektriajamiga masinate hulka kuuluvad elektripuidutrill, millel padrunisse kinnitatud puur on elektrimootori võlli vahetuks pikendiks, elektrivärten, elektrilihvimiskäiad, elektriventilaatorid ja mõnda tüüpi elektrikoorelahutid.

Elektriventilaatori labad kinnitatakse vahetult elektrimootori võlli pikendile.



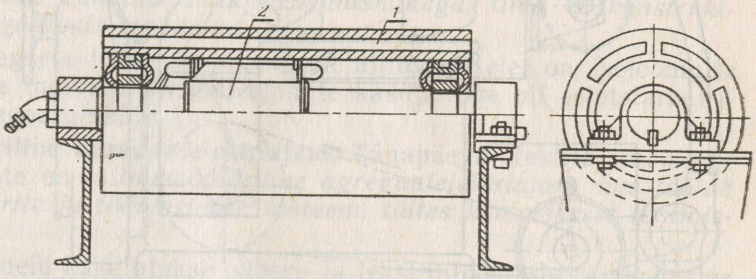
Joon. 11. Elektrilihvimiskäi



Joon. 12. Välisrootoriga elektripurusti (eemaldatud kattega)

Elektrilihvimiskäial (joon. 11) on asünkroonmootor, mille välisrootorile on kinnitatud lihvimisketas *1*. Sellise elektrimootori staator *2* paikneb rootori sees olevas õõnes.

Eri-individuaalelektriajami näitena võib mainida tehnikakandidaat A. F. Grebennikovi konstrueeritud elektripurustit (joon. 12). Selle elektrimootori välisrootor *1* moodustab trumli, millele on kinnitatud töödeldavat saadust purustavad vasarad *2*. Sedasama võib ütelda ka insener P. A. Fridkini süsteemi kaarstaatoriga elektrikraasimismasina ja valtspinkide rullteede rullmootorite (joon. 13) kohta. Siin on osa *1*, mida mööda liigub metall, asünkroonmootori välisrootoriks ja osa *2* staatoriks.



Joon. 13. Rullmootor

Nendes elektriajamites on mootor liitunud töömasinaga ühtseks tervikuks, mehaanilised ülekanded puuduvad täielikult ja elektromagnetjõud mõjuvad vahetult täiturmehhanismile. Kõige selle tulemusena on kogu agregaadi mass väiksem, ehitus lihtsam, kasutegur suurem, kasutamiskulud väiksemad ja võimalused juhtimise automatiseerimiseks väga laialdased.

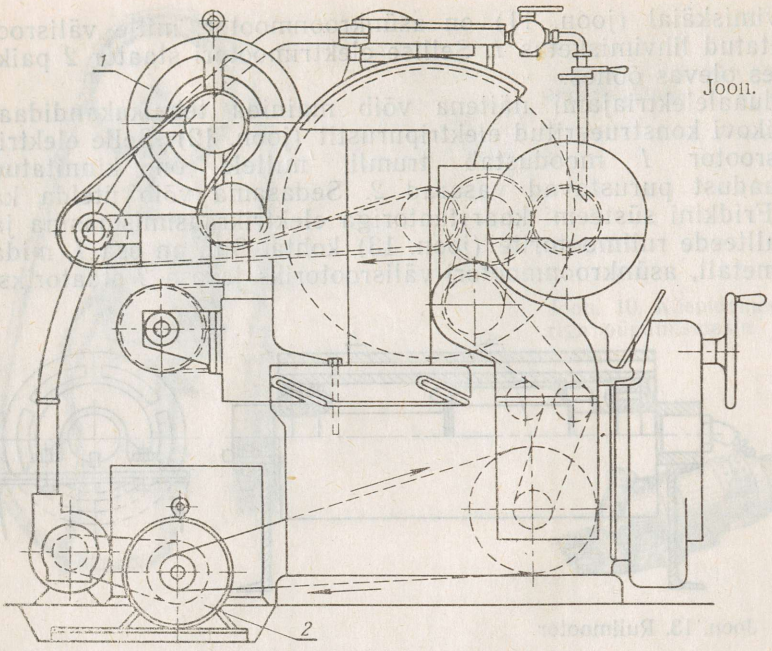
Eri-individuaalelektriajamite elektrimootori osa peegeldub isegi masina nimetuses. Selliste masinate nimetusele liitub tavaliselt eesliide *elektri-*, näiteks elektritrill, elektrivärten, elektripurusti, elektrikraasimismasin, elektrilihvimiskäi.

§ 5. Mitmemootorilised elektriajamid

Energia mehaaniline jaotamine keerukas masinas ühest energeetikasõlmest mitmetele tööorganitele põhjustab suurt energiakadu hammas-, rihm- ja teistes ülekannetes. Mõnikord aga osutub see täiesti võimatuks. Seepärast on võetud kasutusele *mitmemootoriline elektriajam, mille puhul keeruka tööpingi või masina eri sõlmedel on iseseisvad elektrimootorid.*

Sellise ehitusviisi korral on hõlpus üksikute sõlmede tööd automaatselt juhtida ja vabastada tööline raskete abitöövõtete täitmisest, mille tulemusena tööviljakus suureneb märgatavalt. Keerukate masinate üksikute täiturmehhanismide varustamine iseseisvate elektrimootoritega lihtsustab märgatavalt töömasina kinemaatikat ja ehitust.

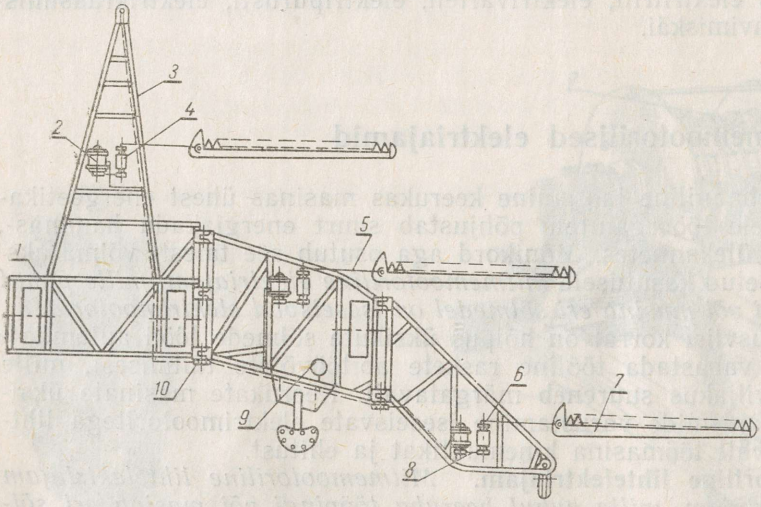
Mitmemootoriline lihtelektriajam. *Mitmemootoriline lihtelektriajam on selline elektriajam, mille puhul keeruka tööpingi või masina eri sõlmedel on omaette elektrimootorid, mis paigaldatakse tööorganitest eraldi või on nendega mehaaniliselt sobitatud ilma konstruktsiooni muutmata.* See on mitmemootorilise elektriajami esimene arenguaste. Töökodades



Joon. 14. Lihvimispink

on mitmemootoriline lihtelektriajam näiteks väntvõllide lihvimispingil (joon. 14). Lihvimispingil on tavalise ehitusega elektrimootor *1* lihvimisketta käitamiseks ning elektrimootor *2* pumba ja lihvitavat väntvõlli hoidva plaanseibi käitamiseks.

Mitmemootoriline lihtelektriajam on ka järelehaagitaval suure haar-



Joon. 15. Mitmemootorilise lihtelektriajamiga niidumasina skeem:
1 — masina raam; *2* — elektrimootor; *3* — elektrijuhe; *4* — väntmehhanismi võll; *5* — keps; *6* — väntvõll; *7* — lõikeaparaat; *8* — kiilrihmülekanne; *9* — juhtimiskilp; *10* — ühendusmuhv

delaiusega niidumasinal (joon. 15). Tavaliselt niidumasinalt on kõik kardaanvõllid, hammasülekanded ja käigukastid ära võetud. Nende asemele on iga lõikeaparaadi jaoks paigaldatud elektrimootor võimsusega 1,5 kW, $n = 24$ p/s (1440 p/min).

Elektrifitseeritud niidumasinate katsetamisel selgus nende suur eelis sama tüüpi niidumasinate ees, mille lõikeaparaate käitatakse traktori mootorilt kardaanide abil.

Mitmemootoriline individuaalelektriajam. Mitmemootorilise elektriajami järgmiseks arenguastmeks on mitmemootoriline individuaalelektriajam.

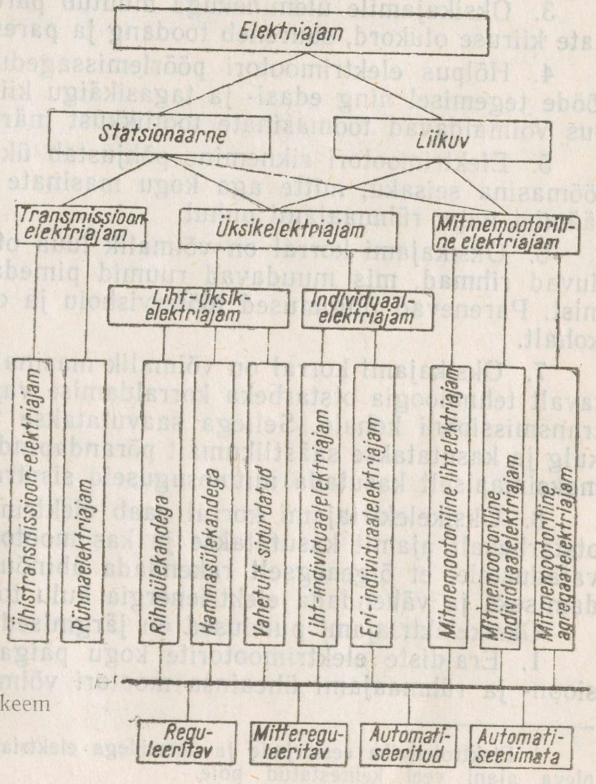
Mitmemootoriline individuaalelektriajam on selline, mille elektrimootorid on ühendatud vahetult täiturmehhanismidega, ilma et konstruktsiooni oleks märgatavalt muudetud.

Kogu kaasaegsele tööstusele, eriti metallitööstusele, on iseloomulik mitmemootoriliste individuaalelektriajamite kasutamine nii eriotstarbelistel kui ka agregaatpinkidel.

Mitmemootoriline agregaatelektriajam. Tänapäeva elektriajami kõige kõrgem arenguaste on *mitmemootoriline agregaatelektriajam, kus töötab koos terve mootorite ja töömasinate süsteem, täites komplekssed tootmisülesannet.*

Selliseid ajameid kasutatakse paberi- ja tekstiilitööstuses, ajakohastes trükikodades ja mitmetes teistes tööstusharudes.

Mitmemootoriliste elektriajamite hulka kuuluvad ka viimasel ajal üha enam ja enam levinud vooluliinide elektriajamid (linnufarmides, kol-



Joon. 16. Elektriajamite liigitelu skeem

hooside ja sovhooside viljahoidlate teraviljapuhastus- ja -kuivatuspunktides, jõusöödatehastes), mida juhitakse automaatselt või poolautomaatselt.

Piltlik ülevaade kõigist eespool käsitletud elektriajami liikidest ja nende omavahelised seosed on esitatud elektriajamite liigitelu skeemil (joon. 16).[1]

§ 6. Üksikajami eelised ja puudused võrreldes rühmaajamiga

Üksikajami eelised on järgmised.

1. Üksikajamis tekib märgatavalt väiksem energiakadu kui rühmaajamis. Üksikajami elektrimootor lülitatakse sisse siis, kui seda töö nõuab, rühmaajami korral aga liigub transmissioon kogu aeg, kuni töötab kas või üksainus tööpink. See põhjustab aga transmissiooni tühikäigu tõttu suurt energiakulu.

2. Üksikajami kasutamisel võib hoone olla kergemat tüüpi, mistõttu selle ehitusmaksumus on väiksem. Ka pole üksikajami korral vaja kohmakate ja raskete transmissioonide ning vaheajamite toetamiseks ja kinnitamiseks eritarindeid, mis peaksid taluma suuri staatilisi ning dünaamilisi koormusi. Üksikajami peamised eelised ei seisne siiski tema paremates energeetilistes omadustes ning väiksemates esialgsetes ehitus- ja seadmete soetamise kuludes. Esikohal on tootmisalased eelised: tööviljakuse suurenemine, omahinna alanemine, toodangu kvaliteedi ja töötingimuste parenemine. Määravateks osutuvad just need eelised.

3. Üksikajamile üleminekuga muutub paremaks tööpinkide ja masinate kiiruse olukord, suureneb toodang ja pareneb selle kvaliteet.

4. Hõlpus elektrimootori pöörlemissageduse reguleeritavus mõnede tööde tegemisel ning edasi- ja tagasikäigu kiiruse automaatne muudetavus võimaldavad töömasinate tootlikkust märgatavalt suurendada.

5. Elektrimootori riknemine põhjustab üksikajami korral ainult ühe töömasina seisaku, mitte aga kogu masinate rühma või tsehhi seismajäämist nagu rühmaajami puhul.

6. Üksikajami korral on võimalik luua otstarbekat valgustust. Puuduvad rihmad, mis muudavad ruumid pimedaks ja põhjustavad tolmumist. Parenevad tingimused töötervishoiu ja ohutustehnika nõuete seisukohalt.

7. Üksikajami korral on võimalik masinaid hõlpsasti paigutada vastavalt tehnoloogia otstarbeka korraldamise vajadustele, koondamata neid transmissiooni kohale. Sellega saavutatakse tootmisprotsessi täiuslikum kulg ja kasutatakse säästlikumalt põrandapinda. Samuti avaneb võimalus maksimaalselt kasutada mitmesuguseid sisetranspordi vahendeid.

8. Üksikelektriajami korral saab elektrimõõteriistadega jälgida, kui otstarbekalt ajamit kasutatakse ja kas mootori võimsus vastab tööpingi vajadustele, et õigeaegselt rakendada abinõusid ekspluatatsiooni parendamiseks ja vähendada elektrienergia kulu toodanguühiku kohta.

Üksikelektriajami puudused on järgmised.

1. Eraldiste elektrimootorite kogu paigaldusvõimsus on transmissioon- ja rühmaajami üheainsa mootori võimsusega võrreldes suur.

---

[1] Elektrotehnika eeskirjade ja normidega elektriajamite ühtset liigitelu kuni käesoleva ajani veel kehtestatud pole.

2. Suuremad algkulutused (arvestades suure hulga elektrimootorite ning käivitus- ja mõõteaparatuuri maksumust). Tõsi küll, käesoleval ajal esitatakse transmissioon- ja rühmaajamitele ohutustehnika suhtes suuremaid nõudmisi, nii et üksik- ning transmissioon- ja rühmaajami algkulutused võrdsustuvad.

3. Väikeste elektrimootorite väiksem kasutegur ning $\cos \varphi$ kui transmissioon- ja rühmaajami suurematel mootoritel.

Vaatamata nendele puudustele on üksikajami tootmisalased eelised niivõrd suured, et kõik uued käitised varustatakse eranditult üksikajamitega.

II PEATÜKK

TÖÖMASINATE JA ELEKTRIMOOTORITE MEHAANILISTE TUNNUSJOONTE ANALÜÜS

Eespool oli märgitud, et tehnoloogias oma ülesandeid täitev töömasin või masinate süsteem esitab teatud nõudeid, millele peab vastama elektrimootor.

Seepärast on vaja hästi teada töömasinate ja mootorite mehaanilisi omadusi ning nende omaduste sõltuvust mitmetest parameetritest (esmajärjekorras pöörlemissagedusest). Töömasina takistusmomendi ja elektrimootori pöördemomendi muutumisel sõltuvalt pöörlemissagedusest on suur tähtsus siirdeolukorras: käivitamisel, pidurdamisel, pöörlemissageduse reguleerimisel ja koormuse järskudel muutustel. Käesolevas peatükis on käsitletud nende sõltuvust ja analüüsi.

§ 1. Töömasinate ja elektrimootorite mehaanilised tunnusjooned

Töömasina mehaaniliseks tunnusjooneks nimetatakse tema takistusmomendi ja ajamivõlli pöörlemissageduse või nurkkiiruse vahelist sõltumust, s. t. $M_t = f(n)$ või $M_t = f(\omega)$.

Elektriajamite arvutamisel ja omaduste selgitamisel tuleb sageli lähtuda töömasinate mehaanilise tunnusjoone analüütilisest avaldisest. See avaldis võib olla mitmesugune, kuid kõige enam on levinud valem

$$M_t = M_0 + (M_{tn} - M_0)\left(\frac{n}{n_n}\right)^x$$

või

$$\left[M_t = M_0 + (M_{tn} - M_0)\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^x\right], \tag{1}$$

kus M_t on töömasina takistusmoment pöörlemissagedusel n või nurkkiirusel ω;

M_0 — töömasina takistusmoment pöörlemissagedusel $n = 0$ või nurkkiirusel $\omega = 0$; enamasti on see mehhanismi liikuvate osade hõõrdemomendiks;

M_{tn} — töömasina takistusmoment nimipöörlemissagedusel n_n või niminurkkiirusel ω_n;

x — antud tunnusjoonele vastav astmenäitaja.

Joonisel 17 on esitatud tüüpilisemad valemiga (1) väljendatavad mehaanilised tunnusjooned, kui $|x| \geqslant 0$.

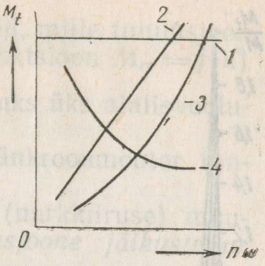
Tunnusjoon *1* vastab olukorrale $x = 0$. Sel juhul töömasina takistusmoment

$$M_t = M_{tn} \qquad (2)$$

ega sõltu pöörlemissagedusest (nurkkiirusest).

Selline tunnusjoon on tõstemasinatel, vintsidel, linttransportööridel, püsiva koormusega konveieritel.

Tunnusjoon *2* vastab olukorrale $x = 1$, mil töömasina takistusmoment kasvab lineaarselt sõltuvalt pöörlemissagedusest n (nurkkiirusest ω) ja väljendub valemiga



Joon. 17. Töömasinate mehaanilised tunnusjooned

$$M_t = M_0 + \frac{M_{tn} - M_0}{n_n} n$$

või (3)

$$\left(M_t = M_0 + \frac{M_{tn} - M_0}{\omega_n} \omega \right).$$

Selline mehaaniline tunnusjoon on võõrergutusgeneraatoril, kui ta on töömasinaks ja toidab püsiva väärtusega välistakistust. Põllumajandusmasinatest on sellele ligilähedase tunnusjoonega teraviljapuhasti (kõver *3*, joon. 18).

Tunnusjoon 3 saadakse, kui $x = 2$. Siis

$$M_t = M_0 + \frac{M_{tn} - M_0}{n_n^2} n^2$$

või (4)

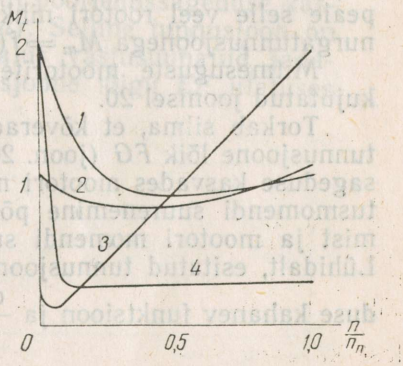
$$\left(M_t = M_0 + \frac{M_{tn} - M_0}{\omega_n^2} \omega^2 \right).$$

Nagu valemist näha, on põhiline takistusmomendi komponent võrdeline pöörlemissageduse (nurkkiiruse) ruuduga. Selliseid mehaanilisi tunnusjooni nimetatakse *ventilaatoritunnusjoonteks*, sest samasuguse seaduspärasusega muutub ka ventilaatori koormusmoment. Ventilaatoritunnusjoonega masinate hulka kuuluvad veel tsentrifugaalpumbad, turboõhupuhurid, sõukruvid, koorelahutid. Ventilaatoritunnusjoon on ka peksumasinate ja kombainide trumlitel tühikäigul. Teatavasti tegi juba akadeemik V. P. Gorjatškin kindlaks, et peksumasina trumlil

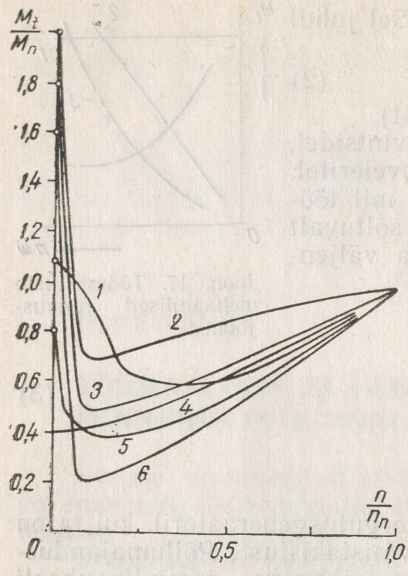
$$M_t = A + B\omega^2, \qquad (5)$$

kus A ja B on katseliselt leitud tegurid;
ω — trumli nurkkiirus rad/s.

Tunnusjoon *4* esineb siis, kui $x = -1$. Sel juhul muutub takistusmoment pöördvõrdeliselt pöörlemissagedusega (nurkkiirusega), masina või mehhanismi võimsus aga



Joon. 18. Mehaanilised tunnusjooned:
1 — põhipuistel; *2* — viljalõikur; *3* — teraviljapuhasti; *4* — vilja-peaelevaator



Joon. 19. Mehaanilised tunnusjooned:
1 — pärast remonti sissetöötatava kombaini mootor; *2* — savisõtkur (koormatult); *3* — linamurdmismasin; *4* — põhubiiter; *5* — kombain tervikuna (ilma käiguosata); *6* — vasarpurusti

ei muutu. Selline tunnusjoon on mõnedel metallitöötlemispinkidel, vilja-peaelevaatoril, teravilja-kopptõstukitel.

Esitatud analüütilised ja graafilised takistusmomendi sõltumused $M_t = f(n)$ või $M_t = f(\omega)$ võimaldavad töömasinate mehaanilisi tunnusjooni (joon. 17) liigitada järgmiselt:

1) *konstantne mehaaniline tunnusjoon* (sirge *1*),

2) *tõusev lineaarne tunnusjoon* (sirge *2*),

3) *tõusev mittelineaarne (paraboolne) mehaaniline tunnusjoon* (kõver *3*),

4) *langev mittelineaarne mehaaniline tunnusjoon* (kõver *4*).

Käsitletud mehaanilised tunnusjooned kujutavad endast muidugi ainult tegelike tingimuste teatavat idealiseerimist ega saa hõlmata kõiki tegelikult esinevaid mehaanilisi tunnusjooni. Paljud tunnusjooned väljendavad märksa keerukamat momendi ja pöörlemissageduse (nurkkiiruse) vahelist sõltuvust.

Joonistel 18 ja 19 on esitatud mõningate põllumajandusmasinate ja -riistade mehaanilised tunnusjooned.

Nagu näha, on osa neist tunnusjoontest üsna suure täpsusega väljendatavad valemiga (1). Selliste tunnusjoonte hulka kuuluvad kõverad *3* ja *4* joonisel 18 ja enamik joonisel 19 kujutatud kõveraid. Seejuures on peetud silmas, et valem (1) ei sobi tunnusjoone väljendamiseks paigaltnihkemomendi mõju ulatuses (takistusmomendi väärtustel, kui $n = 0$) ja tunnusjoone algosas (piirkonnas ligikaudu $n/n_n \leqslant 0{,}1$). Sellist ligikaudsust peetakse lubatavaks seepärast, et paigaltnihkemoment energeetikale olulist mõju ei avalda, tema mõju käivitusolukorrale arvestatakse aga vastavate ülesannete lahendamisel mootori vajaliku käivitusmomendi valikuga.

Elektrimootorite tüüpilised mehaanilised tunnusjooned. Elektriajami töö seisukohalt iseloomustavad elektrimootorite omadusi kõige paremini nende mehaanilised tunnusjooned.

Elektrimootori mehaaniliseks tunnusjooneks nimetatakse arendatava momendi ja pöörlemissageduse (nurkkiiruse) vahelist sõltumust $M_m = f(n)$ või $M_m = f(\omega)$. Sünkroonmootori poolt arendatav moment sõltub peale selle veel rootori nihkenurgast Θ. Seda sõltumust väljendatakse nurgatunnusjoonega $M_m = f(\Theta)$.

Mitmesuguste mootorite tüüpilised mehaanilised tunnusjooned on kujutatud joonisel 20.

Torkab silma, et kõverad *1*, *2*, *3* (joon. 20, *a*) ja asünkroonmootori tunnusjoone lõik *FG* (joon. 20,*b*) on langevad. See tõendab, et pöörlemissageduse kasvades mootori moment väheneb, vastupidi, töömasina takistusmomendi suurenemine põhjustab mootori pöörlemissageduse vähenemist ja mootori momendi suurenemist vastavalt kasvavale koormusele. Lühidalt, esitatud tunnusjoonte järgi on mootori moment pöörlemissageduse kahanev funktsioon ja $\frac{dM_m}{dn} < 0$.

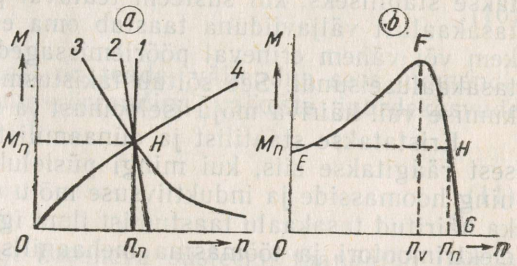
Nimetatud omadus ei ole aga üldine. On mootoreid, mille tunnusjoon tervikuna või üksikute lõikude ulatuses on kasvav funktsioon $M_m = f(n)$ ja vastavalt $\frac{dM_m}{dn} > 0°$. Sellise tunnusjoonega on näiteks üks alalisvoolu-liitergutusmootoreid (kõver *4*, joon. 20,*a*), samuti asünkroonmootor tunnusjoone lõigu *EF* ulatuses (joon. 20,*b*).

Eri mootorite momendimuutu pöörlemissageduse (nurkkiiruse) muutumisel ehk jäikust iseloomustab *mehaanilise tunnusjoone jäikustegur* β_m, mis avaldub tuletisena

$$\frac{dM_m}{dn} = \beta_m \quad \text{või} \quad \frac{dM_m}{d\omega} = \beta_m. \tag{6}$$

Jäikuse järgi jaotatakse elektrimootorite mehaanilised tunnusjooned nelja põhiliiki.

1. *Absoluutselt jäik tunnusjoon* (sirge *1*, joon. 20,*a*) vastab mootoritele, mis töötavad rangelt püsiva pöörlemissagedusega.



Joon. 20. Elektrimootorite tüüpilisi tunnusjooni.
a: *1* — sünkroonmootor; *2* — rööpergutusmootor; *3* — jadaergutusmootor; *4* — segaergutusmootor ülekaalus oleva vastusuunatud jadaergutusmähisega; *b*: asünkroonmootor

Näidetena nimetagem sünkroonmootorit, mille momendi püsival pöörlemissagedusel määrab nihkenurk Θ, ja vastusuunatud jadaergutusmähisega liitergutusmootorit.

2. *Jäik ehk rööpergutustunnusjoon* (sirge *2*, joon. 20,*a*) on alalisvoolu-rööpergutusmootoril, väikese rootoritakistusega kolmefaasilisel asünkroonmootoril tunnusjoone lõigu *FG* ulatuses (joon. 20,*b*) ja liitergutusmootoril, millel on ülekaalus rööpergutusmähis.

Nimetatud mootoritel põhjustab pöörlemissageduse väike muutus momendi märgatavat muutust.

3. *Pehme ehk jadaergutustunnusjoon* (kõver *3*, joon. 20,*a*) on mootoritel, millel pöörlemissageduse tunduv muutus suurendab või vähendab momenti suhteliselt vähe. Sellised on jadaergutusmootor ja liitergutusmootor, millel on ülekaalus jadaergutusmähis, samuti suure rootoritakistusega kolmefaasiline asünkroonmootor.

4. *Tõusev tunnusjoon* on selline, mille puhul pöörlemissageduse kasvades suureneb ka moment (kõver *4*, joon. 20,*a*). Selline tunnusjoon on alalisvoolu-liitergutusmootoril, millel on ülekaalus vastusuunatud jadaergutusmähis, samuti asünkroonmootoril tunnusjoone lõigu *EF* ulatuses (joon. 20,*b*).

§ 2. Elektriajami staatiline stabiilsus

Harilikult kui elektriajami koormus on püsiv või muutub aeglaselt, säilib elektrimootori momendi ja töömasina takistusmomendi vahel tasakaal. Mootorist ja töömasinast koosnevas süsteemis kehtib järgmine seos:

$$M_m = M_t. \tag{7}$$

Kui nimetatud tasakaalu rikub mingi välismõju, taastub see alati automaatselt, ilma et oleks vaja kasutada kunstlikke vahendeid või regulaatoreid. Selles avaldub elektrimootori kasulik erinevus teist liiki mootoritest, mis nõuavad muutuva koormuse korral suhteliselt püsiva pöörlemissageduse (nurkkiiruse) säilitamiseks eriregulaatoreid.

Elektrimootoris täidab omapärase regulaatori ülesannet vastuelektromotoorjõud. Takistusmomendi suurenemine või vähenemine töömasina võllil kutsub esile mootori pöörlemissageduse (nurkkiiruse) muutuse, millele vastavalt kujuneb ankrus või rootoris teatav vastuelektromotoorjõud ja ka vool. See aga määrab elektrimootori poolt arendatava momendi.

Elektrimootorist ja töömasinast koosneva süsteemi töötamine loetakse stabiilseks, kui süsteem teataval pöörlemissagedusel (nurkkiirusel) tasakaalust väljaviiduna taastab oma endise tasakaalu või endisest rohkem või vähem erineval pöörlemissagedusel (nurkkiirusel) saavutab uue tasakaaluseisundi. See sõltub takistusmomendi muutuse, võrgupinge kõikumise vm. häiriva mõju iseloomust ja määrast.

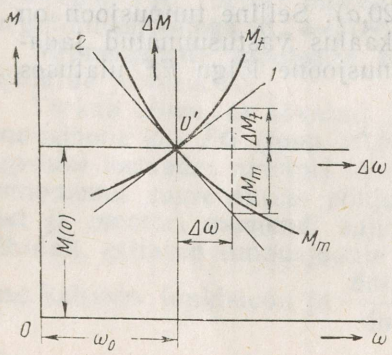
Eristatakse staatilist ja dünaamilist stabiilsust. Staatilisest stabiilsusest räägitakse siis, kui mingi püsiolukord muutub võrdlemisi aeglaselt ning hoomasside ja induktiivsuse mõju on seetõttu väike. Peetakse silmas ka häiritud tasakaalu taastumist ilma igasuguste eriregulaatoriteta, ainult elektrimootori ja töömasina mehaaniliste tunnusjoonte vastava kooskõla tulemusena. Selle põhjal on staatilise stabiilsuse mõiste täielikult määratletav.

Elektriajami staatilise stabiilsuse all mõistetakse tema võimet taastada elektrimootori ja töömasina momendi vaheline tasakaal, mis on rikutud häirivate mõjude suhteliselt aeglasel muutumisel.

Dünaamilise stabiilsusega on tegemist siis, kui koormuse või võrgupinge järskude kõikumiste tagajärjel esinevad kiired protsessid, mille puhul hoomasside, mõnel juhul aga induktiivsuse mõju on juba märgatav.

Käsitleme lühidalt staatilise stabiilsuse tagamise tingimusi. Dünaamilisest stabiilsusest tuleb juttu allpool, elektriajamites esinevate siirdenähtuste tundmaõppimisel.

Elektriajamite staatilise stabiilsuse tunnus tuletatakse nn. *väikeste juurdekasvude või muutuste meetodil* nagu automaatreguleerimise teooriaski.



Joonisel 21 on esitatud elektrimootori mehaanilise tunnusjoone $M_m = f(\omega)$ ja töömasina mehaanilise tunnusjoone $M_t = f_1(\omega)$ lõigud, mis lõikuvad tasakaalupunktis 0′. Arutluse hõlbustamiseks on punkt 0′ võetud ka koordinaatide algus-

Joon. 21. Elektriajami staatilise stabiilsuse tunnuse tuletamiseks

punktiks. Sel juhul momendi- ja nurkkiirusemuut püsiväärtuste $M_{(0)}$ ja ω_0 suhtes

$$\Delta\omega = \omega - \omega_0; \quad \Delta M_m = M_m - M_{m(0)}; \quad \Delta M_t = M_t - M_{t(0)}, \tag{8}$$

kus $M_{m(0)}$ on mootori moment;

$M_{t(0)}$ — töömasina takistusmoment püsiolukorras, kui nurkkiirus on ω_0;

ωM_m ja M_t — nurkkiiruse ja momentide jooksevkoordinaadid.

Et stabiilsuse tingimusi käsitletakse väikeste muutudena tasakaaluasendi suhtes, siis asendatakse kõverate tõeliste tunnusjoonte lõigud nende puutujatega tasakaalupunktis.

Lähtudes joonistest 21 ning arvestades valemeid (6) ja (8), võime siis koostada järgmised avaldised:

$$\Delta M_m = \frac{dM_m}{d\omega}\Delta\omega = \beta_m(\Delta\omega), \tag{9}$$

$$\Delta M_t = \frac{dM_t}{d\omega}\Delta\omega = \beta_t(\Delta\omega). \tag{10}$$

Nagu teoreetilisest mehaanikast on teada, väljendub seos momendi- ja nurkkiirusemuudu vahel liikumisvõrrandina väikeste juurdekasvude kaudu:

$$\Delta M_m - \Delta M_t = J\frac{d(\Delta\omega)}{dt}, \tag{11}$$

kus J on mootorist ja töömasinast koosneva süsteemi taandatud inertsmoment.

Siis, arvestades avaldisi (9) ja (10), saame:

$$(\beta_m - \beta_t)\Delta\omega = J\frac{d(\Delta\omega)}{dt}. \tag{12}$$

Diferentsiaalvõrrandi (12) lahendamisel saame:

$$\Delta\omega = Ce^{-\frac{\beta_t - \beta_m}{J}t}, \tag{13}$$

kus C on integreerimiskonstant, mis võrdub ajami esialgse kiirusemuuduga (tasakaalu rikkumisel).

Elektriajami töötamisel staatilise stabiilsusega läheneb sunnitud muut $\Delta\omega$ aja jooksul nullile. Nagu valemist (12) nähtub, on see tingimus täidetud ainult juhul, kui

$$\beta_t - \beta_m = \frac{dM_t}{d\omega} - \frac{dM_m}{d\omega} > 0. \tag{14}$$

Valem (14) kujutab endast elektriajami staatilise stabiilsuse tunnuse ehk kriteeriumi matemaatilist väljendust.

Sellest valemist selgub, et nurkkiirusel ω püsiolukorras ($M_m = M_t$) töötav elektriajam on siis staatiliselt stabiilne, kui töömasina takistusmomendi tuletis nurkkiiruse järgi antud punktis on suurem käitava mootori momendi tuletisest sama nurkkiiruse järgi, s. t. siis, kui

$$\frac{dM_t}{d\omega} > \frac{dM_m}{d\omega}. \tag{15}$$

Lähtudes mehaanilise tunnusjoone jäikuse mõistest, võime ütelda, et *elektriajam on siis staatiliselt stabiilne, kui nurkkiirusel ω on töömasina mehaaniline tunnusjoon jäigem käitava elektrimootori tunnusjoonest punktis, mis vastab momentide tasakaalule* ($M_m = M_t$), s. t. siis, kui

$$\beta_t > \beta_m. \qquad (16)$$

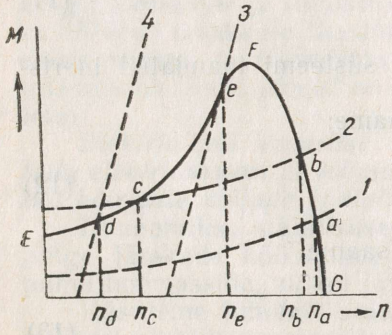
Kui on teada elektriajami staatilise stabiilsuse tunnus, on võimalik igal konkreetsel juhul võrdlemisi hõlpsasti teha kindlaks, kas antud elektriajam on stabiilne või mitte.

Näitena käsitleme mõnda lühisasünkroonmootoriga elektriajami tööolukorda.

Joonisel 22 on esitatud elektrimootori tunnusjoon kõverana *EFG* ning mõnede töömasinate mehaanilised tunnusjooned kõveratena *1*, *2* ja sirgetena *3*, *4*.

Asünkroonmootori mehaanilise tunnusjoone *EFG* lõiku *FG* nimetatakse mõnikord tunnusjoone stabiilseks osaks, lõiku *EF* aga mittestabiilseks. Tunnusjoonte nende lõikude sellised nimetused põhinevad asjaolul, et enamikul juhtudel, kui silmas pidada olukorda, mil asünkroonmootor käitab töömasinat, mille mehaaniliseks tunnusjooneks on kõverad *1* või *2*, lõik *FG* (antud juhul punktides *a* ja *b*) tõepoolest tagab stabiilse töötamise, elektriajami tööolukord punktis *c* pöörlemissagedusel n_c on aga mittestabiilne. Selles on hõlpus veenduda, kui lähtuda eespool tuletatud staatilise stabiilsuse tunnusest.

Kuid nii on olukord ainult juhul, kui töömasinate mehaanilisteks tunnusjoonteks on kõverad *1* ja *2*.



Joon. 22. Asünkroonmootoriga elektriajami stabiilsuse käsitlemiseks

Olukord muutub, kui käitatakse masinaid ja mehhanisme, mille mehaanilisteks tunnusjoonteks on sirged *3* ja *4* (joon. 22). Selline olukord esineb näiteks alalisvoolu-jadaergutusgeneraatoreid käitaval ajamil. Lähtudes staatilise stabiilsuse tunnusest, võime sel juhul väita, et elektriajami töö on stabiilne pöörlemissagedustel n_d ja n_e (punktides *d* ja *e*). Seega muutub lõik *EF* mittestabiilsest stabiilseks.

Eelmainitust selgub, et elektriajami stabiilne töö sõltub elektrimootori ja töömasina mehaaniliste tunnusjoonte õigest seostamisest.

Elektriajamite projekteerimisel on töömasinate mehaanilised tunnusjooned tavaliselt antud. Seega taandub ülesande lahendamine elektrimootorite mehaaniliste tunnusjoonte õigele valikule.

§ 3. Põllumajanduses kasutatavad elektrimootorid

Põllumajanduse elektriajamites võib kohata kõige mitmekesisemat tüüpi alalis- ja vahelduvvoolumootoreid: esimestest rööpergutus-, jadaergutus- ja liitergutusmootoreid, teistest kolmefaasilisi lühisasünkroonmootoreid (tavalisi ning kaksik- ja sügavuuretega), kolmefaasilisi faasasünkroonmootoreid, ühefaasilisi asünkroonmootoreid, sünkroon- ja kommutaatormootoreid.

Alalisvoolumootoreid kasutatakse peamiselt eriotstarbelistes teimiseadmetes, ulatuslikult reguleeritavat pöörlemissagedust nõudvates seadmetes, mõningatel metallitöötlemispinkidel, akumulaatoritest toituval elektrikärul, samuti seadmetes, mis paiknevad võimsatest ülekandeliinidest kaugel, nii et elektrit saadakse kohalikest väikestest alalisvoolu-elektrijaamadest.

Vahelduvvoolumootoritest on levinud peamiselt lühisrootoriga asünkroonmootorid.

Ühefaasilised elektrimootorid on väikese võimsusega ajamitel: aknaventilaatoritel, elektritrillidel, õmblusmasinatel jm.

Praegusel ajal tehakse uurimistööd, et leida võimalusi väikese ja keskmise võimsusega ühefaasiliste asünkroonmootorite laialdasemaks kasutamiseks põllumajanduse elektriajamites.

Sünkroonmootoreid kasutatakse peamiselt niisutussüsteemides.

Vahelduvvoolu-kommutaatormootoreid esineb põllumajanduses väikestes tööriistade terituspinkides, mõningat tüüpi lambapügamismasinates, tolmuimejates ja muudes seadmetes.

Allpool käsitletakse levinumate mootoritüüpide põhilisi omadusi ja mehaanilisi tunnusjooni.

Nimiväärtused. Elektrotehnika eeskirjad ja normid annavad elektrimootorite normaalset tööd ja olukorda iseloomustavate suuruste nimiväärtustele järgmised määratlused.

Masina nimiolukord vastab tema passi kantud töötingimustele ja andmetele. Selles olukorras peab masin rahuldama soojenemise, kasuteguri, võimsusteguri, kommutatsiooni, elektrilise tugevuse ja muude andmete suhtes kehtestatud nõudeid.

Elektrimootori nimivõimsuseks P_n nimetatakse võimsust, mida mootor nimiolukorras võllil arendab; seda võimsust väljendatakse vattides või kilovattides ja see on märgitud passi.

Nimipöördemoment M_n on moment, mida mootor arendab passi kantud nimivõimsusel P_n, nimipöörlemissagedusel n_n (niminurkkiirusel ω_n) ja nimipingel U_n.

Nimipöördemomendi võib arvutada valemiga

$$M_n = \frac{P_n}{2\pi n} = \frac{P_n}{\omega_n} \text{ Nm}^1, \qquad (17)$$

kus P_n on mootori nimivõimsus W;
n_n — mootori nimipöörlemissagedus p/s;
ω_n — mootori niminurkkiirus rad/s.

---

[1] Mitte rangelt SI süsteemist lähtuvas kirjanduses esineb see valem ka järgmisel kujul:

$$M_n = \frac{9{,}55 \cdot 10^3 P_n}{n_n} \text{ Nm} \quad \text{või} \quad M_n = \frac{975 \cdot P_n}{n_n} \text{ kgf} \cdot \text{m},$$

kus P_n on võimsus kW;
n_n — nimipöörlemiskiirus p/min;
$9{,}55 = 60/2\pi$;
$975 = 60 \cdot 10^3/2\pi \cdot 9{,}81$;
$9{,}81 = g$ — raskuskiirendus.

Nimipöörlemissageduseks n_n, *niminurkkiiruseks* ω_n, *nimipingeks* U_n, *nimivooluks* I_n ja *nimikasuteguriks* η_n nimetatakse mootori passi kantud pöörlemissagedust, nurkkiirust, pinget, voolu ja kasutegurit tingimusel, et ka tööolukorda iseloomustavatel ülejäänud suurustel on samuti nimiväärtus.

Alalisvoolumootorite nimikasutegur leitakse järgmiselt:

$$\eta_n = \frac{P_n}{U_n I_n}. \tag{18}$$

Kolmefaasiliste mootorite nimikasutegur

$$\eta_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}\, U_n I_n \cos \varphi_n}, \tag{19}$$

kus P_n on vattides;
U_n — voltides;
I_n — amprites;
$\cos \varphi_n$ — nimivõimsustegur, mis tavaliselt on kantud mootori passi ja mis kujutab endast võrgust nõutava nimitegevvõimsuse (kW või W) ja niminäivvõimsuse (kVA või VA) suhet.

§ 4. Alalisvoolu-rööpergutusmootori mehaanilised tunnusjooned. Mootoriolukord

Käsitletaval mootoril on ergutusmähis ühendatud ankruringiga rööbiti. See tagab mootori töötamisel alati ühesuguse polaarsuse poolustel.

Rööpergutusmootori pöördemoment

$$M_m = k\Phi I_a, \tag{20}$$

kus k on võrdetegur (antud mootoril jääva väärtusega, mis sõltub voolu ja magnetvoo mõõtühikutest ning mootori ehitusest);
Φ — ühe pooluse magnetvoog;
I_a — ankrumähist läbiv vool.

Küllaldase täpsusega võib eeldada, et rööpergutusmootori magnetvoog sõltub ainult ergutusvoolust I_e (mille võime valida). Kui I_e = const, siis

$$M_m = k_1 I_a, \tag{21}$$

kus $k_1 = k\Phi$ = const.

Järelikult on mootori poolt arendatav pöördemoment võrdeline ankrut läbiva vooluga I_a.

Ankruvool

$$I_a = \frac{U - E}{R_a + R_k}, \tag{22}$$

kus U on klemmipinge;
R_a — ankrutakistus (ankrumähise ja harjade siirdetakistuse summa);
R_k — käivitustakistus, mille väärtus sõltub käiviti seadeasendist;
E — ankru pöörlemisel ankrumähistes indutseeritav vastuelektromotoorjõud.

Vastuelektromotoorjõud

$$E = C\Phi n, \tag{23}$$

kus C on konstant, mis sõltub mootori ehitusest, mõõtmetest, pöörlemissagedusest n ja magnetvoost Φ;
Φ — magnetvoog;
n — ankru pöörlemissagedus.

Elektrimootori mehaaniliseks tunnusjooneks nimetatakse pöördemomendi sõltuvust pöörlemissagedusest $M_m = f(n)$. Rööpergutusmootori mehaanilise tunnusjoone analüütilise avaldise võime saada valemitest (21), (22) ja (23).

Tõepoolest, teades, et

$$I_a = \frac{U - E}{R_a + R_k} = \frac{U - C\Phi n}{R_a + R_k}, \tag{24}$$

saame avaldise (20) järgmisel kujul:

$$M_m = \frac{k\Phi U}{R_a + R_k} - \frac{kC\Phi^2 n}{R_a + R_k}. \tag{25}$$

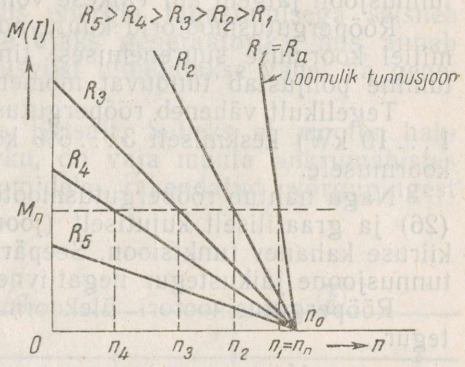
Kui $R_k = \text{const}$ (või null), võime valemis (25) asendada avaldised

$$\frac{k\Phi U}{R_a + R_k} \text{ ja } \frac{kC\Phi^2}{R_a + R_k}$$

konstantidega A ja B. Siis mootori pöördemoment

$$M_m = A - Bn. \tag{26}$$

Võrrand (26) ongi mehaanilise tunnusjoone analüütiline avaldis.



Joon. 23. Rööpergutusmootori mehaanilised tunnusjooned ankruringi mitmesuguste takistuste puhul

Joonisel 23 on esitatud rööpergutusmootori mehaanilised tunnusjooned mitmesuguste ankruringi takistuste $R_a + R_k$ puhul. Igal mootoril suurus $R_a = \text{const}$ ja ankruringi takistuse muutumist põhjustab takistus R_k. Mida suurem on ankruringi takistus, seda väiksem on mehaanilise tunnusjoone jäikus, s. t. seda rohkem kaldu on tunnusjoon. Äärmised tunnusjooned vastavad takistustele R_1 ja R_5, kusjuures eeldatakse, et $R_1 = R_a$ (lisatakistust ankruringis pole, $R_k = 0$). Tunnusjoon, mis vastab takistusele $R_5 = R_a + R_{k\,max}$, saadakse täielikult sisselülitatud lisatakistiga R_k. Tunnusjooned takistustel R_2, R_3, R_4 asuvad vahepealsetes asendites. Nagu nähtub jooniselt 23, lõikuvad mingil pöörlemissagedusel

n_0 kõik tunnusjooned ühes punktis, kus $M_m = 0$, sõltumata takistusest $R_a + R_k$. Pöörlemissagedust n_0 nimetatakse ideaalse tühijooksu pöörlemissageduseks; seda võib väljendada avaldisega

$$n_0 = \frac{U}{C\Phi}. \tag{27}$$

Sellel pöörlemissagedusel on vastuelektromotoorjõud E (ehk ankruemj.) väärtuselt võrdne klemmipingega ja järelikult avaldise (22) järgi võrduvad ankruvool ja mootori moment nulliga.

Piirtunnusjoont takistusel $R_1 = R_a$ (joon. 23) nimetatakse loomulikuks tunnusjooneks. *Elektrimootori loomulikuks tunnusjooneks nimetatakse sellist tunnusjoont, mis saadakse ankruringis lisatakistuse puudumisel mootori pinge ja magnetvoo nimiväärtustel.*

Mehaanilisi tunnusjooni, mis saadakse ankruringi lisatakistite lülitamisega, nimetatakse *tehistunnusjoonteks.*

Rööpergutusmootori loomulik tunnusjoon ja selle analüütiline avaldis (26) tõendavad, et mootori poolt arendatav moment kujuneb automaatselt võrdseks töömasina takistusmomendiga.

Mootori omapäraseks regulaatoriks osutub seejuures vastuelektromotoorjõud E. Koormuse suurenedes ja pöörlemissageduse vähenedes vastuelektromotoorjõud E alaneb. Ankrut läbiv vool tugevneb seetõttu vastavalt valemile (24) ja järelikult suureneb ka mootori võllil arendatav moment. Mootori pöörlemissagedus väheneb niisama palju, kui palju on vaja vastuelektromotoorjõu alanemiseks ja ankruvoolu viimiseks vastavusse masina kasvanud takistusmomendiga. Valemist (24) selgub, et koormuse suurenemise tõttu väheneb pöörlemissagedus seda vähem, mida väiksem on ankruringi takistus.

Sellega ongi seletatav, et võimsatel mootoritel, mille ankrumähisel on jämedamad juhtmed ja suhteliselt väiksem takistus, on mehaaniline tunnusjoon jäigem kui väikese võimsusega mootoritel.

Rööpergutusmootorid kuuluvad jäiga tunnusjoonega mootorite hulka, millel koormuse suurenemisest tingitud tühine pöörlemissageduse muutumine põhjustab tunduvat momendimuutu.

Tegelikult väheneb rööpergutusmootori pöörlemissagedus (võimsustel 1 ... 10 kW) keskmiselt 3 ... 6% koormuse muutumisel tühijooksult nimikoormusele.

Nagu nähtub rööpergutusmootori mehaanilise tunnusjoone võrrandist (26) ja graafiliselt kujutiselt (joon. 23), on selle elektrimootori moment kiiruse kahanev funktsioon. Seepärast on rööpergutusmootori mehaanilise tunnusjoone jäikustegur negatiivne.

Rööpergutusmootori ülekoormatavus on küllalt suur. Ülekoormustegur

$$\mu_k = \frac{M_{max}}{M_n},$$

kus M_{max} on mootori maksimaalselt lubatav moment;
M_n — mootori nimimoment.

Meie maa tehastes valmistatud mootoreid võib lühiajaliselt üle koormata 2 ... 2,5 korda. Suuremat ülekoormust piirab mehaaniline tugevus ja kommuteerimise halvenemine, millest kommutaatoril tekib tugev sädelemine.

Vastavalt riiklikule standardile ГОСТ 183-55 peavad alalisvoolumootorid taluma 50%-list vooluga ülekoormamist vähemalt ühe minuti vältel.

Mootori momendi väärtuse hindamisel eeldati, et magnetvoog jääb konstantseks. On ilmne, et suurim käivitusmoment saavutatakse täielikult väljalülitatud ergutusregulaatori korral. Sel juhul on ergutusmähist läbiv vool kõige tugevam ja magnetvoog kõige suurem.

§ 5. Rööpergutusmootori pidurdusolukorrad

Rööpergutusmootori mehaanilised tunnusjooned joonisel 23 vastavad mootoriolukorrale, kus mootor töötab joonisel 24, *a* kujutatud lülituses. Tunnusjooned paiknevad koordinaadistiku esimeses veerandis. Sellega ei ole aga elektrimootori kasutamise võimalused elektriajameis sugugi ammendatud. Suurt huvi pakuvad elektrimootori kasutamise võimalused pidurdusolukordades.

Elektrimootori ja sageli suure hoomassiga töömasina kiire ning sujuva peatamise võimalusel on oluline tähtsus tööviljakuse suurendamisel ja masina seisuaegade lühendamisel.

Mõnikord on vaja säilitada mootori pöörlemissagedust teatud piirides (tõsteseadmetes koorma langetamisel, trammi või elektrirongi mäest laskumisel) või kasutada elektrimootorit koormava pidurina, näiteks remonditöökodades traktorimootorite katsetamisel. Mõnikord on nõutav sujuv, kiire ja sagedane pidurdus (höövelpinkidel).

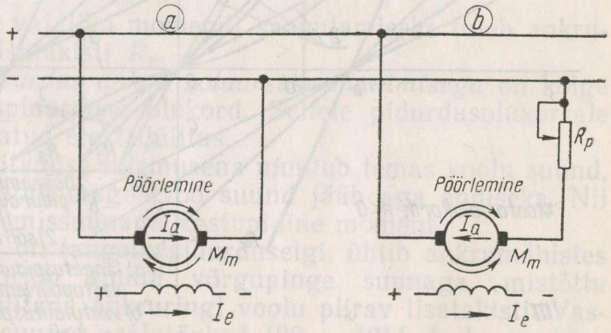
Kõigil sellistel juhtudel ilmnevad elektrimootori suurepärased pidurdusomadused.

Paljudest pidurdusviisidest on siin esitatud kolm, mis pakuvad huvi põllumajanduses kasutatava elektriajami seisukohalt:

1) *rekuperatiivpidurdus,*
2) *vastulülituspidurdus,*
3) *dünaamiline pidurdus.*

Rekuperatiivpidurdus ehk pidurdus energia tagastamisega seisneb selles, et mootor muutub pidurdamise ajaks generaatoriks, mis annab toodetud energiat võrku. Seda pidurdusviisi nimetatakse vahel ka generaatorpidurduseks.

Mootor muudetakse generaatoriks lihtsalt. Selleks et mootor hakkaks andma voolu teda toitvasse võrku, on vaja muuta ankrumähistes indutseeritud elektromotoorjõud klemmidele rakendatud võrgupingest kõrgemaks.



Joon. 24. Rööpergutusmootori lülituste skeemid:
a — tavalise mootoriolukorra puhul ($n < n_0$), *b* — rekuperatiivpidurdusel ($n > n_0$)

Et sel juhul $E > U$, siis muutub ankruvool $I_a = \frac{(U-E)}{R_a}$ vastupidiseks, see aga tähendabki, et mootor on hakanud tööle generaatorina. Mootori moment muutub seejuures vastupidiseks.

Vastuelektromotoorjõudu $E = C\Phi n$ võib suurendada magnetvoo või ankru pöörlemissageduse suurendamisega.

Rööpergutusmootori üleminekut generaatoriolukorda selgitatakse skeemil (joon. 24, *b*).

Rekuperatiivpidurduse mehaanilised tunnusjooned paiknevad IV veerandis (joon. 25), olles I veerandis paiknevate, päripöörlemisele vastava mootoriolukorra tunnusjoonte loomulikud pikendused. Rekuperatiivpidurduse mehaanilised tunnusjooned vastupöörlemisel, mil mootoriolukorra tunnusjooned paiknevad III veerandis, suunduvad muidugi II veerandisse.

Esitame mõne näite.

Näide 1. Rööpergutusmootor pidurdab laskuvat elektrirongi. Potentsiaalse energia varu arvel hakkab elektrirongi kiirus kasvama. Koos sellega tõuseb vastuelektromotoorjõud.

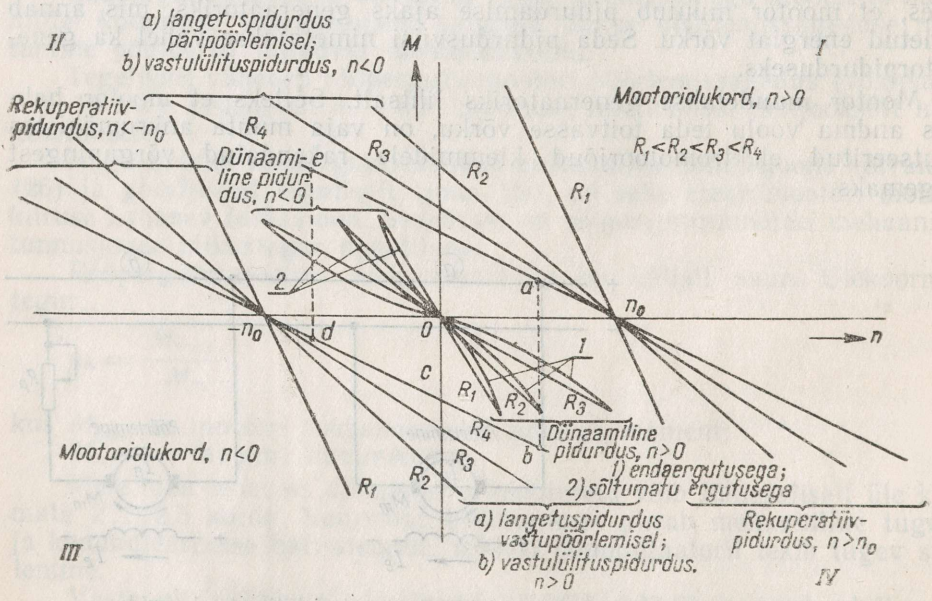
Kui $E = U$, siis ankruvool $I_a = 0$.

Kiiruse edasisel kasvamisel $E > U$, mille tagajärel ankruvool muutub vastassuunaliseks. Et aga masina polaarsus jäi endiseks (ergutumähistes voolu suund ei muutunud), muutub pöördemomendi märk vastupidiseks. Generaatoriks saanud elektrimootor muutub primaarjõuallika suhtes piduriks. Antud juhul on primaarjõuallikaks kallakut mööda laskuv rong. Seilesse salvestatud potentsiaalne energia (hõõrdekaod maha arvatud) muundub elektrienergiaks, millest enamiku annab endine mootor tagasi võrku, osa aga kulub generaatori enda elektriliste kadude katteks.

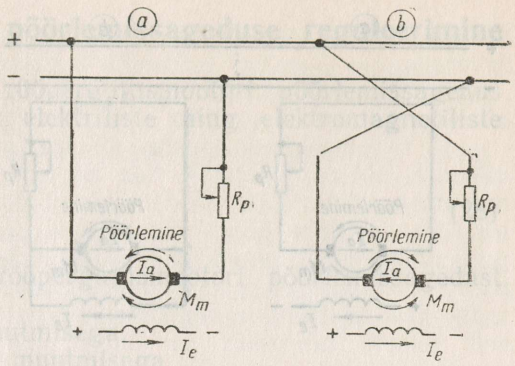
Selle tulemusena püsib rongi kiirus normaalselt lubatud piirides. Kui laskumisel arendatav keskmine võimsus võrdub mootori nimivõimsusega, ei kasva mootori pöörlemissagedus tühijooksukiirusega võrreldes üle 8 ... 10%.

Kui ergutusvoolu tugevdada, kasvab pöörlemissagedus veelgi vähem.

Näide 2. Rööpergutusmootor pidurdab suure hoomassiga metallilõikepinki selle seiskamisel.



Joon. 25. Rööpergutusmootori mehaanilised tunnusjooned mitmesugustel töörežiimidel



Joon. 26. Rööpergutusmootori lülituste skeemid:
a — langetuspidurdusel ($n < 0$); *b* — vastulülituspidurdusel ($n_0 > n > 0$)

Ülesandeks on kulutada võimalikult kiiremini ära süsteemi kineetiline energia, muundades see võrku suunatavaks elektrienergiaks.

Et sel juhul peab pöörlemissagedus kiiresti vähenema, on rekuperatiivpidurdus võimalik seni, kuni magnetvoo kiire suurendamise arvel on võimalik säilitada olukorda, et $E > U$.

Pärast seda kui ergutuse forsseerimise arvel toimunud rekuperatiivpidurdus lakkab, pidurdub süsteem võrgust väljalülitatud mootoriga, kusjuures süsteemi kineetilise energia jääk kulutatakse ainult liikuvate osade hõõrde ületamiseks. Ehkki selline pidurdusviis ei võimalda pinki täielikult peatada, rakendatakse seda siiski, sest see lühendab pidurduskestust märgatavalt.

Vastulülituspidurdus tekib siis, kui mootori mähised on lülitatud ühe pöörlemissuuna jaoks, ankur aga on sunnitud mingil põhjusel pöörlema vastassuunas. Seejuures esinevad kaks täiesti erisugust pidurduse võimalust:

1) langetuspidurdus,

2) pidurdus mootoril käigu peal ankru polaarsuse muutmisega.

Langetuspidurdus esineb näiteks tõsteseadme ajamis, kui mootor on lülitatud tõstmisele, koorma poolt tekitatud moment aga sunnib ajamit pöörlema koorma langetamise suunas.

Langetuspidurduses töötava elektrimootori lülitus on kujutatud joonisel 26, *a*.

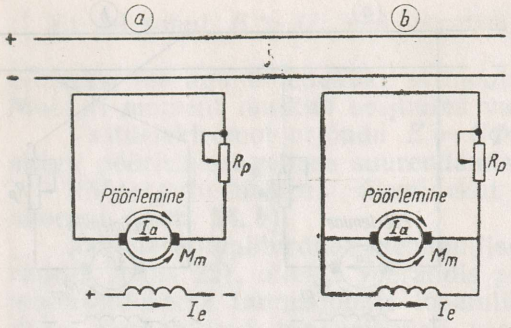
Selle olukorra mehaanilised tunnusjooned (joon. 25) on mootoriolukorra tunnusjoonte pikendusteks ($n < 0$) II veerandis.

Et käsitletud olukorras pöörleb mootori ankur tavalise mootoriolukorra pöörlemissuunaga vastupidiselt, ühtib ankrumähistes indutseeritud elektromotoorjõu suund ilmselt võrgupinge suunaga. Seetõttu on ankruvool $I_a = \frac{U+E}{R}$ palju tugevam kui mootoriolukorras ja nii voolu piiramiseks kui ka igal juhul vajaliku momendi saavutamiseks tuleb ankruringi lülitada muudetav lisatakisti R_p.

Mootori käigu peal pidurdus ankru polaarsuse muutmisega on kõige iseloomulikum vastulülituspidurduse olukord. Sellele pidurdusolukorrale vastab joonisel 26, *b* kujutatud elektrilülitus.

Ankrumähise ümberlülitamise tulemusena muutub temas voolu suund, ergutusmähiste poolt tekitatud magnetvoo suund jääb aga endiseks. Nii tekib mootoris ankru pöörlemissuunaga vastupidine moment.

Antud juhul, nagu see oli langetuspidurduselgi, ühtib ankrumähistes indutseeritud elektromotoorjõu suund võrgupinge suunaga, mistõttu pidurduse ajaks on vaja lülitada ankruringi voolu piirav lisatakisti. Vastasel juhul võivad tekkida suured voolutõuked $(20 \ldots 40) I_n$ ja ka momenditõuked, mis on ohtlikud nii töömasinale kui ka mootorile. Mootori mehaanilised tunnusjooned selles pidurdusolukorras on esitatud jooni-



Joon. 27. Rööpergutusmootori lülituste skeemid dünaamilisel pidurdusel:
a — sõltumatu ergutusega; *b* — endaergutusega

sel 25. IV veerandis paiknevad tunnusjooned, mis vastavad mootori käigu peal ankru polaarsuse muutmisele päripöörlemisel, II veerandis aga vastupöörlemisel. Kui näiteks punkt *a* tunnusjoonel R_4 vastab mootori töötamisele mootoriolukorras enne ankru polaarsuse muutumist, siis pärast polaarsuse muutmist läheb mootor üle olukorrale, mis vastab IV veerandis paikneva tunnusjoone R_4 punktile *b*. Seejuures väheneb mootori pöörlemissagedus pidurdusmomendi mõjul tunnusjoone osas *bc* nullini. Kui mootorit nullile lähedasel pöörlemissagedusel välja ei lülitata, läheb mootor üle vastupöörlemisega mootoriolukorda (III veerandis).

Dünaamiline pidurdus saavutatakse siis, kui rööpergutusmootor lülitada võrgust välja ja tema ankrumähised ühendada mingi välistakistiga R_p, nagu on kujutatud joonisel 27, *a* ja *b*. Inertsi mõjul edasipöörlev mootor annab voolu nii ergutusmähistele kui ka takistile R_p, sest tema mähistes indutseeritakse elektromotoorjõud. Mootori väljalülitamise hetkel on see elektromotoorjõud ligikaudu võrdne võrgupingega. Mida väiksem on takistus R_p, seda tugevam vool läbib ankrumähiseid ja seda jõulisem on pidurdus.

Dünaamiline pidurdus võib toimuda nii sõltumatu ergutusega (joon. 27, *a*) kui ka endaergutusega (joon. 27, *b*).

Sõltumatu ergutusega dünaamilise pidurduse mehaanilised tunnusjooned on sirged, mis läbivad koordinaadistiku alguspunkti ja paiknevad IV veerandis (joon. 25), kui üleminek pidurdusolukorda toimus mootori päripöörlemisel, ja paiknevad II veerandis, kui üleminek pidurdusolukorda toimus mootori vastupöörlemisel. Endaergutusega pidurdusel, tingituna mootori pöörlemissageduse pidevast vähenemisest, muutub magnetvoog Φ. Seetõttu on mehaanilised tunnusjooned kõverad.

Sujuvaks pidurduseks on soovitatav hoida vool kogu pidurduse vältel konstantne. Selleks lülitatakse takisti R_p järk-järgult välja. Väikese võimsusega mootoritel on võrdlemisi suur ankrumähise takistus. Nende kiireks pidurdamiseks jäetakse mõnikord takisti R_p ära ja ankrumähis lühistatakse.

Suurte mootorite ja suure hoomassiga ajamite mootorite lühistamine ei ole aga lubatud, sest tekiks väga järsk pidurdus, mis ohustaks süsteemi mehaanilist tugevust.

§ 6. Rööpergutusmootori pöörlemissageduse reguleerimine

Valemist (24) järeldub, et rööpergutusmootori pöörlemissagedus avaldub elektrivõrgu ja mootori elektriliste ning elektromagnetiliste suuruste kaudu järgmiselt:

$$n = \frac{U}{C\Phi} - \frac{I_a(R_a + R_r)}{C\Phi} \text{ p/s.} \qquad (28)$$

Valemist (28) järeldub, et rööpergutusmootori pöörlemissagedust võib reguleerida kolmel viisil:

1) mootori klemmipinge U muutmisega,
2) ankruringi lisatakistuse R_r muutmisega,
3) magnetvoo Φ muutmisega.

Pöörlemissageduse reguleerimisel mootori klemmipinge U muutmisega võib saada pöörlemissageduse nullist kuni maksimaalselt lubatavani.

Selle reguleerimisviisi puuduseks on asjaolu, et mootori toitmiseks peab olema vastav alalisvoolugeneraator, mille pinge oleks laiades piirides reguleeritav. See aga teeb seadme keerukaks ja kalliks. Neile nõuetele vastavaid seadmeid tuntakse generaator-mootorsüsteemi ehk Leonardi ajami nimetuse all. Neid kasutatakse tööstuses pöörlemissageduse ulatuslikku reguleerimist ja sagedast reverseerimist nõudvates suurte tööpinkide elektriajameis.

Generaator-mootorsüsteemi kasutamise korral on pöörlemissageduse reguleerimise ulatus 12 : 1 kuni 16 : 1. Elektrimasinvõimenditega on võimalik seda ulatust omaette generaatoriga süsteemides laiendada kuni 120 : 1 ja veel enam. Põllumajanduse elektriajameis on generaator-mootorsüsteemi kasutamine otstarbekas masinate teimimisel.

Peale generaator-mootorsüsteemi reguleeritakse pöörlemissagedust klemmipinge muutmisega veel erijuhtimislülitustes, näiteks elektrimasinate pärivastulülitamisega või ioonmuunduriga alalisvoolu-elektriajameis.

Pöörlemissageduse reguleerimine ankruringi takistuse muutmisega põhineb ankru klemmipinge alanemisel takistuse R_r tõttu. Selles olukorras peab vastuelektromotoorjõud $E = U - I_a(R_a + R_r)$ jääma vastavalt madalamaks. Kui $\Phi = \text{const}$, osutub see võimalikuks ainult siis, kui mootori pöörlemissagedust vähendada.

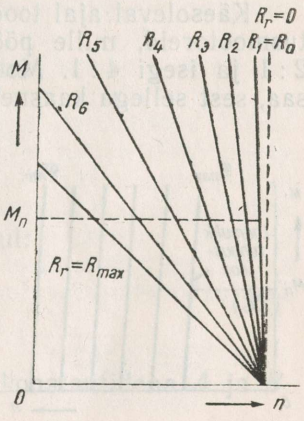
Joonisel 28 on esitatud rööpergutusmootori mehaaniliste tunnusjoonte parv. Iga tunnusjoon vastab ankruringis oleva reguleertakisti R_r erisugusele väärtusele ($R_r = 0$ kuni $R_r = R_{max}$).

Sellel pöörlemissageduse reguleerimise viisil on aga olulisi puudusi.

1. Väikestel koormustel on võimalik reguleerida kiirust ainult väikeses ulatuses.

2. Suurtel takistustel R_r töötab mootor väiksema stabiilsusega, sest ta siirdub jäigalt tunnusjoonelt (mis vastab takistusele $R_r = 0$) vähem jäigale (näiteks $R_r = R_{max}$), mille puhul koormuse muutudes muutub tunduvalt ka pöörlemissagedus.

3. Kuumenemise tõttu kulub reostaadis palju energiat, sest pöörlemissagedust vähen-



Joon. 28. Rööpergutusmootori mehaaniliste tunnusjoonte parv mitmesuguste takistite lülitamisel ankruringi

datakse takistusel tekkiva pingelangu $I_a R_r$ ja vastava võimsuskao $I_a^2 R_r$ arvel.

4. Et reguleerreostaat peab taluma kestvalt tugevat voolu, peab ta olema mõõtmetelt suur ja osutub seega küllalt kalliks.

5. Oluliseks puuduseks on ka see, et koos pöörlemissagedusega väheneb ühtlasi võimsus. See on aga vastuolus enamiku tööpinkide ja masinate otstarbeka töötamise põhinõudega. Metallitöötlemispinkidele antakse tavaline pöörlemissagedus suure lõikejõu korral (koorimisel), puhastöötlemisel ja väikese lõikejõu korral aga püütakse lõikekiirust ja pöörlemissagedust suurendada, et tööpingi võimsust täielikult ära kasutada. Ent käsitletava reguleerimisviisi puhul on üleminek ühelt takistuselt teisele, tähendab ka ühelt pöörlemissageduselt teisele, võimalik ainult konstantse momendiga, mistõttu pöörlemissageduse vähendamisega kaasneb ka vastav võimsuse vähenemine mootori võllil.

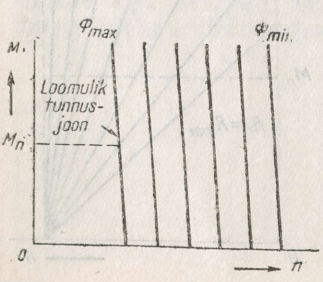
Loetletud puuduste tõttu rakendatakse seda pöörlemissageduse reguleerimise viisi väga harva: 1) mitmemootorilise elektriajami korral abitöövõtete sooritamisel, mil väikest pöörlemissagedust on vaja ainult lühiajaliselt; 2) trükimasinatel, riidetrükkimise masinatel ja muudel sellistel masinatel, mille pöörlemissagedust on vaja suures ulatuses reguleerida (1 : 8, 1 : 10) ainult häälestamise ajal.

Tegelikult rakendatakse rööpergutusmootori pöörlemissageduse reguleerimiseks kõige enam kolmandat viisi — *pöörlemissageduse muutmist magnetvoo Φ (ergutusvoolu) muutmise teel.* Valemi (28) järgi on rööpergutusmootori pöörlemissagedus pöördvõrdeline magnetvooga. Võimalikult suure magnetvoo saavutamiseks lülitatakse ergutusringis olev ergutusreostaat täielikult välja, et ergutusmähist läbiks kõige tugevam vool. Ergutusreostaadi sisselülitamisega saab mootori pöörlemissagedust reguleerida, kuid ainult ülespoole. Täielikult sisselülitatud ergutusreostaadi korral läbib ergutusmähist minimaalne vool ja mootor saavutab maksimaalse pöörlemissageduse.

Tuleb meeles pidada, et ergutusringi katkemisel jääb koormatud mootor seisma, sest ankruvoolu ja ainult pooluste jääkmagnetismi mõjul esilekutsutud magnetvälja koostoimel tekkivast momendist takistusmomendi ületamiseks kaugeltki ei piisa. Teistsugune olukord esineb mootori tühijooksul, mil ergutusringi katkedes ankru pöörlemissagedus järsult kasvab, kuni vastuelektromotoorjõud saavutab ligikaudu sama väärtuse, mis tal oli tühijooksul tavalise magnetvoo korral.

Joonisel 29 on esitatud rööpergutusmootori tunnusjoonte parv, milles iga tunnusjoon vastab ergutusreostaadi erisugusele asendile magnetvoo muutmisel Φ_{max} kuni Φ_{min}.

Käesoleval ajal toodetakse meie maa elektrimasinatehastes rööpergutusmootoreid, mille pöörlemissageduse reguleerimise ulatus on 1,5 : 1, 2 : 1 ja isegi 4 : 1. Mootori pöörlemissagedust ülemäära suurendada ei saa, sest sellega kaasneks mitmeid ebasoovitavaid nähtusi (kommutaatori sädelemine, vajadus ankrumähiste täiendavaks kinnitamiseks, laagrite tugev kuumenemine). Seepärast püütakse saavutada suurt reguleerimisulatust nimipöörlemissageduse vähendamisega. Sellega suurenevad aga mootori ühesuguse võimsuse korral tema mõõtmed, mass ja hind.



Joon. 29. Rööpergutusmootori mehaaniliste tunnusjoonte parv magnetvoo muutmisel

Tavaliselt püütakse reguleerimisulatust 3 : 1 mitte ületada.

Sellel reguleerimisviisil on eelmistega võrreldes mitmeid eeliseid.

1. See viis on kõige majanduslikum. Energiakadu ergutusreostaadis on täiesti tühine, sest ergutusvool $I_e = (0{,}02 \ldots 0{,}05) I_n$.
2. Mehaanilised tunnusjooned jäävad igasuguse magnetvoo puhul jäikadeks.
3. Reguleeritakse konstantse võimsusega.

Magnetvoo ja momendi suurimatele väärtustele vastab mootori väikseim pöörlemissagedus ja vastupidi. See on kooskõlas enamiku reguleeritavate elektriajamite otstarbeka kasutamise tingimustega.

4. Kui kasutada liugreostaate, toimub reguleerimine väga sujuvalt.

§ 7. Alalisvoolu-jadaergutusmootori mehaanilised tunnusjooned. Mootoriolukord

Alalisvoolu-jadaergutusmootor koosneb ankrust ja sellega jadamisi ühendatud ergutusmähisest *EM* (joon. 30).

Et jadaergutusmootori ergutusmähist läbib kogu ankruvool, siis on mähisel võrdlemisi vähe suure ristlõikega traadist keerde.

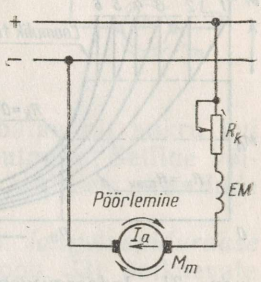
Jadaergutusmootori pöördemoment (nagu rööpergutusmootorilgi) sõltub magnetvoost ja ankruvoolust:

$$M_m = k\Phi I_a. \tag{29}$$

Koormusel 75% nimikoormusest ja alla selle, mil magnetahel ei ole veel väga küllastatud, võib eeldada, et jadaergutusmootori magnetvoog on võrdeline magneetimisvooluga. Et aga antud juhul magneetimisvool ja ankruvool on üks ja seesama (I_a), siis

$$M_m = k' I_a^2, \tag{30}$$

s. t. jadaergutusmootori pöördemoment on võrdeline voolu ruuduga. Seega $I_a = k'' \sqrt{M_m}$.



Joon. 30. Jadaergutusmootori skeem (tavalises mootoriolukorras, mil $n > 0$)

Jadaergutusmootori pöörlemissagedus

$$n = \frac{U - I_a R}{C\Phi}, \tag{31}$$

kus U on klemmipinge;

R — ankrumähise ja ergutusmähise kogutakistus;

Φ — magnetvoog;

C — võrdetegur.

Arvestades, et

$$\Phi = f(I_a) = k''' I_a,$$

kirjutame pöörlemissageduse võrrandi järgmisel kujul:

$$n = \frac{U - I_a R}{C\Phi} = \frac{U}{C\Phi} - \frac{I_a R}{C\Phi} = \frac{U}{Ck''' I_a} - \frac{R}{Ck'''}. \tag{32}$$

Väljendanud avaldised $\frac{U}{Ck''k'''}$ ja $\frac{R}{Ck'''}$ vastavalt konstantidena A ja B

ning asendanud I_a avaldisega $k''\sqrt{M}$, saame: $n = \frac{A}{\sqrt{M_m}} - B$. Siit

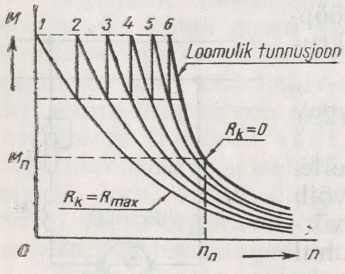
$$M_m = \left(\frac{A}{n+B}\right)^2 . \tag{33}$$

Avaldis (33) näitab, et jadaergutusmootori momendi ja pöörlemissageduse vahelist sõltuvust nimikoormusest väiksemal koormusel kujutab hüperbool. Et suurus B on n-ga võrreldes väike, siis

$$M_m \approx \frac{A^2}{n^2} . \tag{34}$$

Nimikoormusel ja üle selle, mil magnetahelad on küllastuse piiril, magnetvoog nii kiiresti ei suurene, kui kiiresti tugevneb ankruvool, ning selles koormusolukorras läheneb momendi ja pöörlemissageduse sõltumus sirgele.

Joonisel 31 on esitatud jadaergutusmootori käivitusdiagramm. Et jadaergutusmootori mähiste takistus on väike, siis lülitatakse käivitusvoolu piiramiseks ankruringi jadamisi käivitusreostaat R_k. Suurim käivitustakistus $R_k = R_{max}$ valitakse selline, et algkäivitusmoment oleks $(2 \ldots 2{,}5)M_n$.



Joon. 31. Jadaergutusmootori käivitusdiagramm

Mootori pöörlemissageduse kasvades nihutatakse reostaadi käepide järk-järgult esimeselt kontaktilt kuuendale. Ühelt kontaktilt teisele siirdumisel tekivad voolutõuked, sest takistus R_k väheneb astmeliselt. Mida enam astmeid käivitusreostaadil on, seda väiksemad on voolu- ja momenditõuked ning seda sujuvam on käivitus. Käivitusreostaadi viimane kontakt vastab olukorrale, mil käivitustakistus on täielikult välja lülitatud ($R_k = 0$).

Jadaergutusmootori mehaanilist tunnusjoont, mis vastab olukorrale $R_k = 0$, nimetatakse nagu rööpergutusmootorilgi *loomulikuks tunnusjooneks*, ülejäänuid aga *tehistunnusjoonteks*. Loomuliku tunnusjoone kuju tõendab, et jadaergutusmootor on võimeline pöörlemissagedust vähendades taluma suuri ülekoormusi. Selle omaduse tõttu kasutatakse jadaergutusmootorit tõste- ja transpordiseadmetes, elektrikärudel, elektriraudteel ja suure hoomassiga reversiivtööpinkide ajamites, s. t. sellistes elektriajamites, kus elektrimootorilt nõutakse sagedast suurt ülekoormust, käigu ühtlusel aga ei ole erilist tähtsust.

Mehaaniliste tunnusjoonte kujust selgub veel, et tühijooksul ja väikestel koormustel, mil ankruvool on nõrk ning järelikult magnetvoog väike, võib esineda jadaergutusmootori puruksjooks, sest tema pöörlemissagedus kasvab lubamatult palju. Seepärast soovitatakse teda sisse lülitada mitte väiksematel koormustel kui 25% nimikoormusest. Normid ei luba jadaergutusmootorit töömasinaga ühendada ka rihmülekande kaudu, sest töötamisel võib rihm maha libiseda või rebeneda ja koormusest vabanenud mootor võib puruks joosta.

§ 8. Jadaergutusmootori pidurdusolukorrad

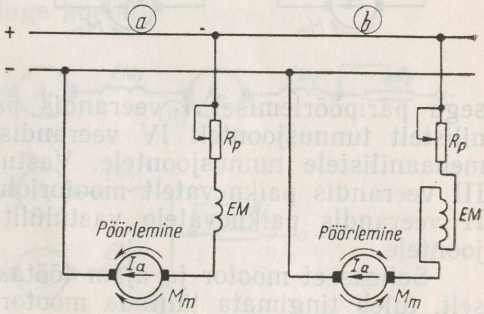
Jadaergutusmootori pidurdus võib toimuda kahel viisil:

1) vastulülituspidurdusena,

2) dünaamilise pidurdusena.

Rekuperatiivpidurdus ei ole võimalik, sest jadaergutusmootori lülitus ei võimalda saada elektromotoorjõudu, mis oleks võrgupingest kõrgem.

Vastulülituspidurdus. Jadaergutusmootoritel on nagu rööpergutusmootoritelgi vastulülituspidurduseks kaks võimalust: langetuspidurdus (joon. 32, *a*) ja pidurdus ankru või ergutusmähise polaarsuse muutumisega

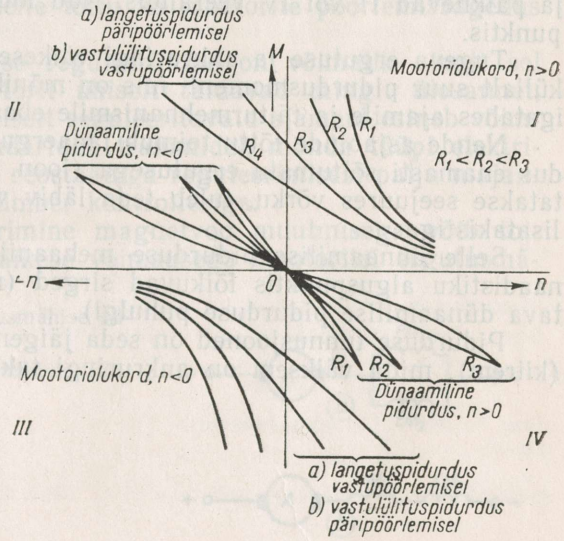


Joon. 32. Jadaergutusmootori lülituste skeemid:
a — langetuspidurdusel ($n < 0$); *b* — vastulülituspidurdusel ($n > 0$)

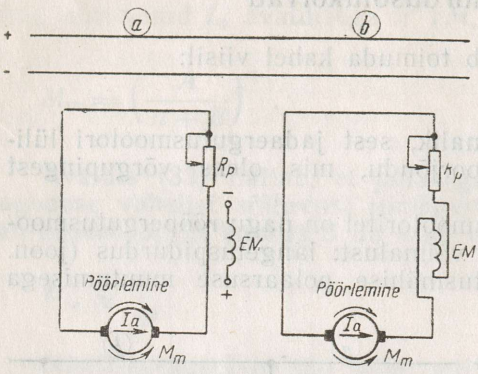
(joon. 32, *b*). Erinevus seisneb vaid selles, et on lubatav nii ankru kui ka ergutusmähise (kas ühe või teise) polaarsuse muutmine. Selline võimalus on tingitud nende mootorite ergutusmähise väiksest keerdude arvust.

Joonisel 32, *a* kujutatud lülituse puhul tekkiva *langetuspidurduse* mehaanilised tunnusjooned on I või III veerandis (joon. 33) paiknevate mootoriolukorra tunnusjoonte pikendused, mis asetsevad vastavalt II või IV veerandis.

Mootori käigu peal ankru või ergutusmähise *polaarsuse muutmisega tekitatav vastulülituspidurdus* (joon. 32, *b*) saadakse mootori üleviimi-



Joon. 33. Jadaergutusmootori mehaanilised tunnusjooned mitmesugustes tööolukordades



Joon. 34. Jadaergutusmootori lülituste skeemid dünaamilisel pidurdusel: *a* — sõltumatu ergutusega; *b* — endaergutusega

sega päripöörlemisel I veerandis paiknevatelt mootoriolukorra mehaanilistelt tunnusjoontelt IV veerandis paiknevatele vastulülituspidurduse mehaanilistele tunnusjoontele. Vastupöörlemise korral toimub üleminek III veerandis paiknevatelt mootoriolukorra mehaanilistelt tunnusjoontelt II veerandis paiknevatele vastulülituspidurduse mehaanilistele tunnusjoontele.

Selleks et mootor ja ajam töötaksid vastulülituspidurduses normaalselt, tuleb tingimata lülitada mootori vooluringi voolu ja momendi piiramiseks reguleertakisti R_p.

Dünaamiline pidurdus. Selleks et viia jadaergutusmootor dünaamilise pidurduse olukorda, lülitatakse tema ankur ja ergutusmähis võrgust välja ning lühistatakse vastava takistuse R_p kaudu. See pidurdus võib toimuda kas *sõltumatu ergutusega* (joon. 34, *a*) või *endaergutusega* (joon. 34, *b*).

Endaergutusega pidurdusel, et vältida masina lahtimagneetumist. tuleb muuta ankru või ergutusmähise polaarsust. Seejuures tuleb silmas pidada, et antud juhul ergutub masin ainult siis, kui $E > I_a(R_a + R_p)$. Selle tingimuse rahuldamiseks on vaja ankrul teatud pöörlemissagedust, millest väiksemal masin ei ergutu ja pidurdust ei teki.

Mehaanilised tunnusjooned endaergutusega pidurdusel on kõverad ja paiknevad II või IV veerandis. Nad lõikuvad koordinaadistiku alguspunktis.

Tugeva ergutuse ja ankruringi väikese takistuse korral võib tekkida küllalt suur pidurdusmoment, mis on mõnikord kui just mitte ohtlik, siis igatahes ajamile ja täiturmehhanismile ebasoovitav.

Nende asjaolude tõttu toimub jadaergutusmootori dünaamiline pidurdus enamasti sõltumatu ergutusega (joon. 34, *a*). Kui ergutusmähis lülitatakse seejuures võrku, tuleb teda läbiv vool hoida nimiväärtuse piires lisatakistiga.

Selle dünaamilise pidurduse mehaanilised tunnusjooned on koordinaadistiku alguspunktis lõikuvad sirged (nagu rööpergutusmootori vastava dünaamilise pidurduse puhulgi).

Pidurduse tunnusjooned on seda jäigemad ja pidurdus seda jõulisem (kiirem), mida väiksem on ankruringi takistus.

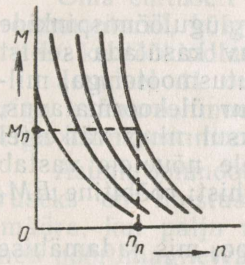
§ 9. Jadaergutusmootori pöörlemissageduse reguleerimine

Alalisvoolumootori põhivõrrandist (24) $n = [U - I_a(R_a + R_r)] : C\Phi$ järeldub, et kõiki rööpergutusmootori pöörlemissageduse reguleerimise viise võib rakendada ka jadaergutusmootori suhtes. Reguleerida võib:

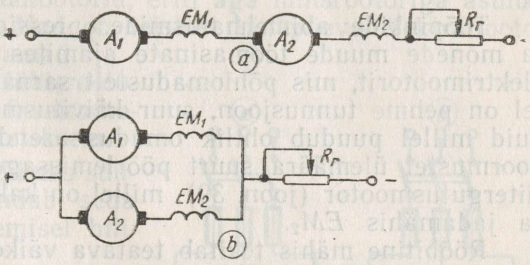
1) ankruringi takistuse muutmisega,
2) ankru klemmipinge muutmisega,
3) magnetvoo muutmisega.

Jadaergutusmootori pöörlemissageduse sõltumus momendist ankruringi mitmesuguse takistuse korral on näha käivitusdiagrammil (joon. 31). See reguleerimisviis on aga väga ebamajanduslik.

Joonisel 35 on kujutatud jadaergutusmootori mehaanilised tunnusjooned $M_m = f(n)$ erisuguse klemmipinge korral.



Joon. 35. Jadaergutusmootori mehaanilised tunnusjooned erisuguse klemmipinge korral



Joon. 36. Jadaergutusmootorite lülitamine võrku jadamisi (*a*) ja rööbiti (*b*)

Klemmipinget muudetakse mitmel viisil: mootor-generaatorsüsteemis tüüritavate ioonmuunduritega või mootorite jada-rööplülitamisega.

Näitena on joonisel 36 esitatud jadaergutusmootori jadarööplülituse skeemid, kus A_1 ja A_2 on võrku (mille pinge on U) jadamisi (*a*) või rööbiti (*b*) lülitatavate mootorite ankrumähised, EM_1 ja EM_2 — vastavalt esimese ja teise mootori ergutusmähis, R_r — reguleerreostaat.

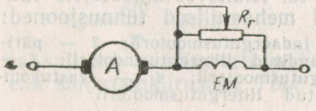
Mootorite jadalülituses on pinge kummagi klemmidel kaks korda madalam kui rööplülituses ja selle tõttu ka mootorite pöörlemissagedus ligikaudu kaks korda väiksem.

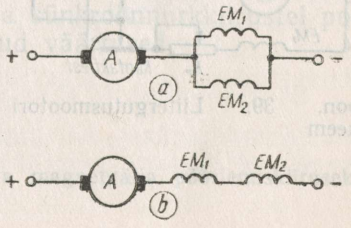
Niisugune pöörlemissageduse reguleerimine on võimalik ainult sel juhul, kui vähemalt kaks mootorit ühiselt täidavad mingit ülesannet, näiteks käitavad ühist võlli. Selliselt reguleeritavaid ajameid esineb võimsatel kraanadel ja metallilõikekääridel, trammidel, mõnda tüüpi elektrikärudel. See reguleerimisviis on reostaadiga reguleerimisest palju majanduslikum. Mootorid lülitatakse ümber kontrolleriga.

Pöörlemissageduse reguleerimine magnetvoo muutmisega võib toimuda samuti kahel viisil: 1) väikese võimsusega mootoritel ergutusmä-

Joon. 37. Magnetvoo muutumine ergutusmähise sildamisega

Joon. 38. Jadaergutusmootori ergutusmähiste lülitamine rööbiti (*a*) ja jadamisi (*b*)





hise sildamisega (joon. 37) ja 2) ergutusmähiste jadaröövplülitamisega, kui mootoril on vähemalt kaks ergutusmähist.

Sildetakistiga R_r suunatakse osa ankruvoolu ergutusmähisest mööda, mille tulemusena magnetvoog Φ väheneb ja pöörlemissagedus vastavalt suureneb.

Ergutusmähiste lülitamisel rööplülitusest (joon. 38, *a*) jadalülitusse (joon. 38, *b*) ergutusmähiste poolt muutumatu ankruvoolu korral tekitatud magneetimisergutus suureneb, mille tulemusena suureneb ka magnetvoog, mootori pöörlemissagedus aga vastavalt väheneb. Ergutusmähised lülitatakse ümber kontrolleriga.

§ 10. Liitergutusmootor

Tööpinkide abimehhanismide, presside, kääride, augulöömispinkide ja mõnede muude töömasinate ajamites on soovitatav kasutada sellist elektrimootorit, mis põhiomadustelt sarnaneb jadaergutusmootoriga, millel on pehme tunnusjoon, suur käivitusmoment ja suur ülekoormatavus, kuid millel puudub ohtlik omadus arendada tühijooksul ning väikestel koormustel ülemäära suurt pöörlemissagedust. Nendele nõuetele vastab liitergutusmootor (joon. 39), millel on kaks ergutusmähist: rööbitine EM_1 ja jadamähis EM_2.

Rööbitine mähis tekitab teatava väikese magnetvoo, mis jadamähise magnetvooga liitudes ei võimalda mootoril ülemäära suurt pöörlemissagedust arendada.

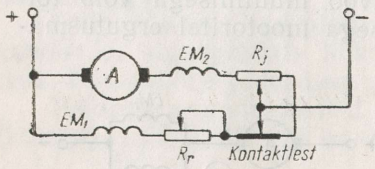
Liitergutusmootori mehaanilised tunnusjooned on jadaergutus- ja rööpergutusmootori vahepealsed.

Alalisvoolumootorite tüüpilised loomulikud tunnusjooned on kujutatud joonisel 40.

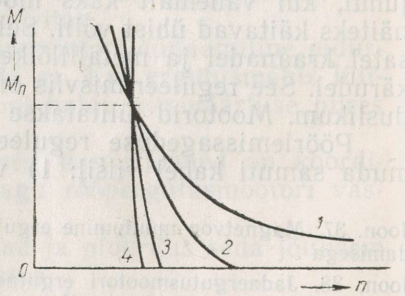
Erinevalt jadaergutusmootorist esineb liitergutusmootoril rööpergutusmähise tõttu ideaalse tühijooksu pöörlemissagedus.

Liitergutusmootori rööpergutus- ja jadaergutusmähis on ühendatud ühes suunas nii, et jadaergutusmähise poolt tekitatud magnetvoog liitub rööpergutusmähise magnetvooga, mistõttu mootori pöörlemissagedus koormuse suurenedes väheneb.

Kuid on võimalik ka teistsugune, nn. vastukompaundlülitus, mille



Joon. 39. Liitergutusmootori skeem



Joon. 40. Alalisvoolumootorite tüüpilised mehaanilised tunnusjooned: *1* — jadaergutusmootoril; *2* — pärikompaunditud liitergutusmootoril; *3* — rööpergutusmootoril; *4* — vastukompaunditud liitergutusmootoril

puhul jadaergutusmähise ja rööpergutusmähise magnetvood mõjuvad teineteisele vastupidi, nii et koormuse suurenedes võib mootori pöörlemissagedus jääda püsivaks või isegi suureneda.

Liitergutusmootori pöörlemissagedust reguleeritakse samuti nagu rööpergutus- ja jadaergutusmootoreilgi.

Alalisvoolumootorite reverseerimine. Selleks et muuta alalisvoolumootori pöörlemissuunda, on vaja muuta voolu suunda kas ankrus või ergutusmähises. Harilikult muudetakse ankruvoolu suunda.

§ 11. Asünkroonmootorite mehaanilised tunnusjooned. Mootori olukord.

Oma ehituselt on asünkroonmootorid, eriti aga lühisrootoriga asünkroonmootorid, kõige lihtsamad. Nad on teistest tänapäeva elektrimootoritest ka töökindlamad ja odavamad.

Joonisel 41 on kujutatud lühisrootoriga asünkroonmootori (*a*) ja faasirootoriga asünkroonmootori (*b*) elektriskeem.

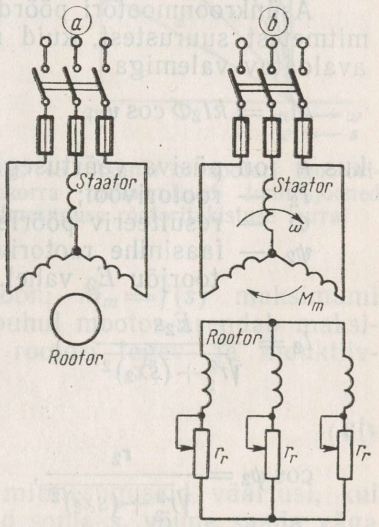
Asünkroonmootori iseloomulikuks suuruseks on libistus, mis väljendab seda määra, kui palju rootor pöörlemisel hilineb pöördmagnetväljast.

Libistus s väljendub avaldisega

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}, \qquad (35)$$

kus n_0 on pöördvälja pöörlemissagedus ehk nn. sünkroonpöörlemissagedus p/s;

n — rootori pöörlemissagedus p/s, mis sõltub mootori koormusest.



Joon. 41. Asünkroonmootori lülituste skeemid tavalises mootoriolukorras:
a — lühismootor; *b* — faasmootor

Pöördvälja pöörlemissagedus n_0 ja nurkkiirus ω_0 arvutatakse järgmiste valemitega:

$$n_0 = \frac{f}{p} \text{ p/s} \quad \text{ja} \quad \omega_0 = \frac{2\pi f}{p} \text{ rad/s}^1 \qquad (36)$$

kus f on toitevoolu sagedus;

p — asünkroonmootori poolusepaaride arv.

Et NSV Liidus toodavad elektrijaamad vahelduvvoolu sagedusega $f = 50$ Hz, on sünkroonpöörlemissagedusel ja sünkroonnurkkiirustel poolusepaaride arvust sõltuvalt tabelis 1 esitatud väärtused.

---

[1] Varem anti selle asemel valem

$$n_0 = \frac{60f}{p} \text{ p/min}$$

ja suurust n_0 nimetati pöördvälja kiiruseks (pöörleva magnetvälja pöörlemiskiiruseks) ehk sünkroonkiiruseks. *Tõlk.*

Tabel 1

Poolusepaaride arv	1	2	3	4	5	6
Sünkroonpöörlemissagedus p/s	50	25	16,7	12,5	10	8,33
Sünkroonnurkkiirus rad/s	314	157	105	78,5	62,8	52,4
Sünkroonkiirus p/min	3000	1500	1000	750	600	500

Libistuse tõttu indutseeritaksegi rootoris elektromotoorjõud E_2 ja lühistatud rootoris tekib vool I_2. Mootoriolukorras on selle piirväärtusteks üks (kui rootor käivituse alghetkel või pidurdatuna seisab) ja null (kui rootor pöörleb pöördväljaga sünkroonselt). Viimane olukord on mõeldav ainult ideaalsel mootoril, milles ei ole energiakadu. Tegelikel mootoritel on rootori pöörlemissagedus n sünkroonpöörlemissagedusest isegi tühijooksul väiksem, ehkki vähesel määral (1% piires).

Koormusel suureneb libistus seni, kuni rootoris tekib vool, mis vastab suurenenud koormuse tasakaalutingimustele.

Asünkroonmootori pöördemoment M_m on küllalt keerukas sõltuvuses mitmetest suurustest, kuid nagu elektrotehnikast teada, on ta üldkujul avaldatav valemiga

$$M_m = kI_2\Phi \cos \psi_2, \tag{37}$$

kus k on püsiva väärtusega kordaja;
I_2 — rootorivool;
Φ — resulteeriv pöörlev magnetvoog;
ψ_2 — faasinihe rootorivoolu I_2 ja rootoris indutseeritud elektromotoorjõu E_2 vahel.

$$I_2 = \frac{E_2 s}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}} \tag{38}$$

ja

$$\cos \psi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}}, \tag{39}$$

kus E_2 on rootori elektromotoorjõud;
s — libistus;
r_2 — rootorimähiste (-varraste) tegevtakistus;
x_2 — pidurdatud rootori mähiste induktiivtakistus.

Suurus $x_2 = 2\pi fL$ (kus f on vahelduvvoolu sagedus ja L — rootorimähiste induktiivsus).

Tavalistel lühismootoritel r_2 libistusest s ei sõltu, induktiivtakistus x_2 aga on võrdeline libistusega s.

Asetanud avaldised (38) ja (39) valemisse (37), saame:

$$M_m = \frac{kE_2 s\Phi r_2}{r_2^2 + (sx_2)^2}. \tag{40}$$

Et $E_2 = \text{const}$ ja $\Phi = \text{const}$, siis

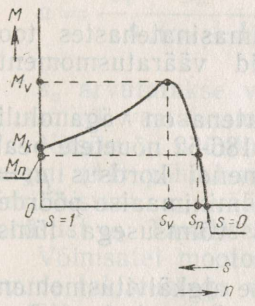
$$M_m = k' \frac{r_2 s}{r_2^2 + (sx_2)^2}. \tag{41}$$

Joonisel 42 on kujutatud asünkroonmootori momendi sõltuvus libistusest ja järelikult ka rootori pöörlemissagedusest (kui $s = 1$, siis $n = 0$; kui $s = 0$, siis $n = n_0$).

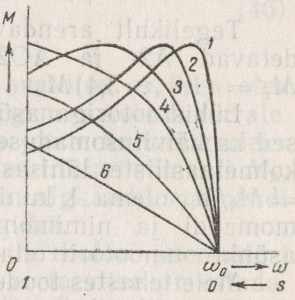
Suurte libistuste piirkonnas on momendimuut hüperbool. Väikestel libistustel, tühijooksust nimikoormuseni ja isegi üle selle, mil $(sx_2)^2$ võrdub ligikaudu nulliga,

$$M_m = k' \frac{r_2 s}{r_2^2} = k'' s, \qquad (42)$$

s. t. *mootori momendi ja libistuse vahel on peaaegu lineaarne seos.* Mida suurem on koormus, seda suurem on libistus ja mootori moment.



Joon. 42. Asünkroonmootori mehaaniline tunnusjoon



Joon. 43. Asünkroonmootori mootori-olukorra mehaanilised tunnusjooned mitmesuguse rootoritakistuse korral

Avaldise (41) täpne analüüs funktsiooni $M_m = f(s)$ maksimumi määramise teel tõendab, et libistus, mille puhul mootor arendab maksimaalmomenti (tähistame selle s_v), sõltub rootori tegev- ja induktiivtakistuse suhtest:

$$s_v = \frac{r_2}{x_2}. \qquad (43)$$

Seega, andes rootori tegevtakistusele mitmesuguseid väärtusi, kui teised mootori ja toitevõrgu suurused jäävad samaks, võime saada väga mitmesuguseid asünkroonmootori mehaanilisi tunnusjooni, mida kujutatakse enamasti sõltuvusena $M_m = f(n)$ (joon. 43).

Kõver *1* vastab rootoritakistusele, mil $r_2 : x_2 = 0{,}15$ ja maksimaalne moment libistusel $s_{max} = 0{,}15$; kõver *3* vastab olukorrale $s_{max} = 0{,}6$; kõver *4* on saadud rootoritakistuse puhul $r_2 = x_2$, mil $s_{max} = 1$ ja mootori maksimaalmoment avaldub käivituse alghetkel. Edasisel r_2 suurendamisel $r_2 > x_2$ ja maksimaalmoment nihkub piirkonda, kus libistus $s > 1$. See vastab allpool käsitletavale pidurdusolukorrale, mil rootor pöörleb välisjõu mõjul vastu pöördvälja suunda.

Joonisel 43 kujutatud kõverad $M_m = f(s)$ tõendavad, et asünkroonmootoril on erinevalt alalisvoolumootoritest teatud kindla väärtusega maksimaalne moment $M_{max} = M_v$, mida nimetatakse vääratusmomendiks. Selle väärtus piirab rangelt mootori ülekoormatavust. Vääratusmoment on antud asünkroonmootori kohta kindla väärtusega, mis rootoritakistusest ei sõltu.

Vastavalt standardile ГОСТ 186-52 peab lühisasünkroonmootorite maksimaal- ja nimimomendi suhteks ehk vääratusmomendi kordsuseks olema

$$\frac{M_{max}}{M_n} = \mu_v = 1{,}7 \ldots 2{,}2.$$

Kraanadele määratud faasasünkroonmootoritel peab standardi ГОСТ 185-53 järgi olema:

võimsustel kuni 5 kW $\mu_v = 2{,}3$,
„ 5 ... 10 kW μ_v 2,5,
„ üle 10 kW $\mu_v = 2{,}8$.

Lühisrootoriga kraanamootoritel:

kuni 8 kW $\mu_v = 2{,}5$,
üle 8 kW $\mu_v = 2{,}8$.

Tegelikult arendavad Nõukogude Liidu elektrimasinatehastes toodetavad A2- ja AO2-tüüpi lühisasünkroonmootorid vääratusmomenti $M_v = (1{,}8 \ldots 3{,}4) M_n$.

Lühisrootoriga asünkroonmootorite iseloomustajatena on väga olulised ka käivitusomadused. Vastavalt standardi ГОСТ 186-52 nõuetele peab kolmefaasiliste lühisasünkroonmootorite käivitusmomendi kordsus $\mu_k = M_k/M_n$ olema 1 kuni 2 ning käivitusel arendatava minimaalse pöördemomendi ja nimimomendi suhe ei tohi mistahes võimsusega lühisasünkroonmootoril olla alla 0,8.

Meie tehastes toodetavate lühisasünkroonmootorite algkäivitusmoment on 5- ... 7-kordse nimivooluga võrduva käivitusvoolu puhul (1,0 ... ... 2,2) M_n. Suurem moment ja väiksem voolukordsus on väikestel mootoritel (0,6 ... 5,5 kW), mille rootoritakistus on suurem.

Selle füüsikaline põhjus selgub valemitest (38) ja (39). Rootori tegevtakistuse suurenemine põhjustab muidugi käivitusvoolu nõrgenemist ja ühtlasi ka $\cos \psi_2$ suurenemist, kuid palju suuremal määral. Sellest ongi tingitud, et mootorid, millel on suurem rootori tegevtakistus, arendavad teatud piirini suuremat käivitusmomenti. Sellega seletub ka keskmiste (5 ... 50 kW) ja suurte (üle 50 kW) mootorite väiksem ning väikeste mootorite suurem libistus. Suurtel mootoritel on rootoritakistus võrdlemisi väike. Rootoritakistust tavaliselt palju ei suurendata, sest see vähendaks mehaanilise tunnusjoone jäikust ja rootoris tekkivate suurte kadude tõttu ka mootori kasutegurit.

Asünkroonmootorite mehaaniliste tunnusjoonte kujundamine kataloogiandmete põhjal. Tegelikult pole valem (40) asünkroonmootori mehaanilise tunnusjoone analüütiliseks avaldamiseks ja kujundamiseks küllalt käepärane. Seepärast olgu esitatud kaks valemit, mis võimaldavad väljendada mootori momendi sõltuvust libistusest $M_m = f(s)$ kataloogis olevate andmete põhjal.

Esimene valem:

$$M_m = \frac{M_v (2 \pm a s_v)}{\frac{s}{s_v} + \frac{s_v}{s} \pm a s_v}, \qquad (44)$$

kus M_v on maksimaal- ehk vääratusmoment;
s — libistus antud koormusel (jooksevkoordinaat);
$a = 2r_1/r'_2$;
r_1 — staatori faasimähise tegevtakistus;
r'_2 — staatorile taandatud rootorimähise tegevtakistus;
s_v — vääratuslibistus, mille võib katseandmete puudumisel arvutada järgmise valemiga:

$$s_v = \frac{(k_M - \mu_v) + \sqrt{(\mu_v - 1)(k_M - 1)\left(\frac{1}{s_n} + s_n - 2\right)}}{\frac{k_M - 1}{s_n} - \mu_v + 1}, \qquad (45)$$

kus $k_M = \mu_v/\mu_k$;

s_n — nimilibistus nimimomendi M_n puhul.

Avaldise a väärtuse võib arvutada kataloogis olevate andmete põhjal nagu vääratuslibistuse s_v. Nimimomendi kohta saame valemist (44):

$$a = \frac{\frac{s_n}{s_v} + \frac{s_v}{s_n} - 2\mu_v}{s_n(\mu_v - 1)}. \qquad (46)$$

s_v arvutatakse valemiga (45). Valemis (44) avaldise as_v ees olev plussmärk vastab mootoriolukorrale ja miinusmärk generaatoriolukorrale.

Niisiis on asünkroonmootori mehaanilise tunnusjoone kujundamiseks valemi (44) põhjal vaja teada ainult järgmisi andmeid: nimimomenti M_n, nimilibistust s_n, vääratusmomendi kordsust μ_v ja algkäivitusmomendi kordsust μ_k. Tavaliselt on need kõik antud kataloogides.

Võimsatel mootoritel on staatori tegevtakistus r_1 rootori ja staatori muude takistustega võrreldes väike, mistõttu seda ei tarvitse arvestada. Seetõttu arvutatakse selliste mootorite moment tavaliselt lihtsustatud valemiga

$$M_m = \frac{2M_v}{\frac{s}{s_v} + \frac{s_v}{s}}. \qquad (47)$$

See valem annab küll ebatäpsema tulemuse, see-eest võimaldab aga kujundada mehaanilise tunnusjoone, kui kataloogis olevaist andmeist on teada vaid M_n, s_n ja μ_v.

Vääratuslibistus s_v arvutatakse seejuures valemiga

$$s_v = s_n(\mu_v + \sqrt{\mu_v^2 - 1}). \qquad (48)$$

Lõpuks on vaja juhtida tähelepanu veel sellele, et üldse asünkroonmootori, eriti aga lühisasünkroonmootori moment sõltub oluliselt võrgupingest. Kui kõik muud tingimused on ühesugused, siis

$$M_m \approx kU^2, \qquad (49)$$

kus k on mingi konstant;

U — klemmipinge.

Seda asjaolu on vaja eriti arvestada nendes põllumajandusseadmetes, kus liinide suure pikkuse tõttu valitakse mõnikord metalli säästmiseks mitteküllaldase ristlõikega juhtmed. Selle tagajärjel tekib käivitamisel nii suur pingekadu ja järelikult ka momendi vähenemine, et mootori ülesjooks pole võimalik.

Eriti tugevasti mõjutab asünkroonmootori momenti tähtkolmnurklülitite kasutamine. Sel juhul töötab mootor harilikult kolmnurka lülitatud mähistega, mis käivitamisel lülitatakse tähte.

Olgu võrgupinge U. Siis mootori faasipinge tähtlülituses $U_\lambda = U/\sqrt{3}$,

kolmnurklülituses aga $U_{\triangle} = U$.

Järelikult on momentide vahekord järgmine:

$$\frac{M_{\curlywedge}}{M_{\triangle}} = \frac{U_{\curlywedge}^2}{U_{\triangle}^2} = \frac{U^2}{(\sqrt{3})^2 U^2} = \frac{1}{3}.$$

Siit selgub, et mootori moment väheneb mähiste lülitamisel kolmnurgast tähte kolm korda. See tuleneb ka valemist (37), kui arvestada, et tähtlülituses nõrgeneb käivitusvool samuti kolm korda.

Tõepoolest, kui mootori faasimähise näivtakistus on z, siis käivitamisel kujunev faasivool tähtlülituses

$I_{f\curlywedge} = U/(\sqrt{3}z)$ ja kolmnurklülituses $I_{f\triangle} = U/z$.

Seejuures on võrgust tulev liinivool mähiste tähtlülituses võrdne faasivooluga: $I_{l\curlywedge} = I_{f\curlywedge} = U/(\sqrt{3}z)$. Liinivool kolmnurklülituses on faasivoolust $\sqrt{3}$ korda tugevam. Järelikult $I_{l\triangle} = \sqrt{3}\,U/z$,

kust

$$\frac{I_{l\curlywedge}}{I_{l\triangle}} = \frac{Uz}{\sqrt{3}z\sqrt{3}U} = \frac{1}{3}.$$

Selline käivitusvoolu nõrgenemine on sageli üsna kasulik, kuid seejuures tuleb silmas pidada, et ühtlasi väheneb ka käivitusmoment kolm korda.

Seepärast tuleb enne tähtkolmnurklülituse rakendamist arvutada, kas sel juhul tekkiv käivitusmoment on ka mootori ja töömasina paigaltnihkeks ning ülesjooksuks piisav.

Faasasünkroonmootor. Kui käivitusvoolu on vaja tunduvalt nõrgendada, säilitades seejuures ikkagi küllaldast käivitusmomenti ja koormusolukorras jäika mehaanilist tunnusjoont, tuleb kasutada faasimähistega asünkroonmootorit ehk faasasünkroonmootorit, mida kontaktrõngaste olemasolu tõttu vahel ka kontaktrõngas-asünkroonmootoriks nimetatakse.

Selle mootori rootoriringi takistust suurendatakse käivitamisel kunstlikult erilise käivitusreostaadi sisselülitamisega.

Niisuguse mootori skeem on esitatud joonisel 41,*b*. Sõltuvalt käivitusreostaadi takistusest võib käivitusvool olla mitmesuguse tugevusega.

Mootoriolukorras töötava faasasünkroonmootori mehaanilised tunnusjooned on analoogilised joonisel 43 kujutatutega.

Tavalisel koormusel on faasasünkroonmootori rootorimähised lühistatud (reostaadi takistus $r_r = 0$). Äärmist tunnusjoont *1*, mis vastab takistusele $r_r = 0$, nimetatakse nagu alalisvoolumootoritelgi loomulikuks tunnusjooneks, tunnusjooni *2* ... *6* aga tehistunnusjoonteks.

Ülekoormatavus ning kõik seosed momendi, voolu ja pinge vahel on sellel mootoril samasugused nagu lühisasünkroonmootoril.

Kuigi faasasünkroonmootoril on selline suurepärane omadus nagu suur käivitusmoment küllalt nõrga käivitusvoolu korral, on tal lühisasünkroonmootoriga võrreldes ka olulisi puudusi: suuremad remondi- ja ekspluatatsioonikulud ning keerukam ehitus. See mootor koos reostaadiga on 20 ... 25% kallim lihtsa vinnaklülitiga lühisasünkroonmootorist ja 15 ... 20% kallim tähtkolmnurklülitiga lühisasünkroonmootorist.

Lühisrootor talub suurt soojuslikku ülekoormust.

Reostaadiga käivitatavate väikese võimsusega mootorite $\cos\varphi$ on 2 ... 3% ja kasutegur 1 ... 2% väiksem kui sama võimsusega lühisasünkroonmootoritel.

Kõik see sunnib hoiduma faasasünkroonmootorite kasutamisest põllumajanduses, kus pealegi on sageli niiske, esineb tolmu (mõnes kohas plahvatusohtlikku tolmu, näiteks veskites) ning harilikule isolatsioonile, rootori kontaktrõngastele ja reostaadi kontaktidele kahjulikke gaase (lautades). Põllumajanduses kasutatakse neid mootoreid ainult äärmise vajaduse korral: suure võimsuse ja sagedase käivituse puhul, suure hoomassiga ajamites ja seal, kus on vaja tagada suurt käivitusmomenti ilma võrgupinge järskude kõikumisteta.

§ 12. Asünkroonmootorite pidurdusolukorrad

Oma põhitöö kõrval võib asünkroonmootorit kasutada pidurdusolukorras: generaatorpidurduses, vastulülituspidurduses ja dünaamilises pidurduses.

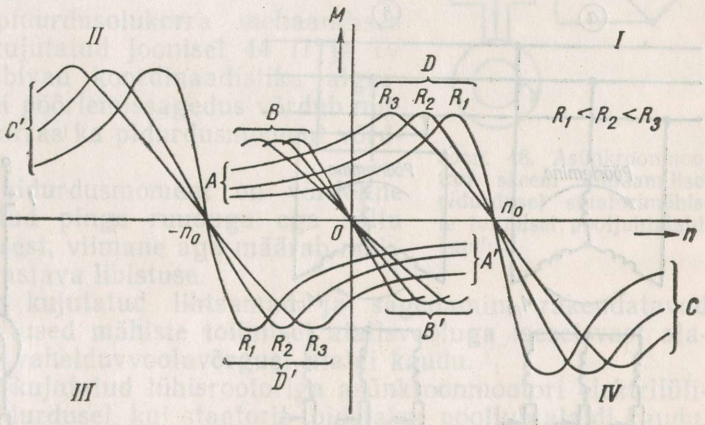
Asünkroonmootori mehaanilised tunnusjooned mitmesugustes pidurdusolukordades on kujutatud joonisel 44.

Mootoriolukorra mehaanilised tunnusjooned on päripöörlemisel I veerandis ja vastupöörlemisel III veerandis. Nende pikendused teistesse veeranditesse vastavad mitmesugustele pidurdusolukordadele.

Generaatoriolukord ehk *pidurdus energia tagastamisega võrku* (rekuperatiivpidurdus) on võimalik siis, kui mootori pöörlemissagedus on suurem sünkroonpöörlemissagedusest ($n > n_0$). Selline olukord on võimalik ainult välise jõuallika momendi rakendamisel asünkroonmootori võllile.

Päripöörlemisega mootoriolukorrast pidurdusolukorda üleminekul paiknevad mehaanilised tunnusjooned IV veerandis ja vastupöörlemisega mootoriolukorrast üleminekul II veerandis.

Näitena võib mainida asünkroonmootori kasutamist pidurdusgeneraatorina traktorimootorite remondijärgse sissetöötamise ja teimimise stendil, mis on loodud Riiklikus Teaduslikus Traktorite Uurimise Instituudis (ГОСНИТИ). Sel juhul antakse teimitavale



Joon. 44. Asünkroonmootori mehaanilised tunnusjooned mitmesugustes tööolukordades:

A — langetuspidurdus päripöörlemisel (vastulülituspidurdus vastupöörlemisel), $n < 0$; *A'* — langetuspidurdus vastupöörlemisel (vastulülituspidurdus päripöörlemisel); $n > 0$; *B* — dünaamiline pidurdus, $n < 0$; *B'* — dünaamiline pidurdus, $n > 0$; *C* — rekuperatiivpidurdus, $n > n_0$; *C'* — rekuperatiivpidurdus, $n < -n_0$; *D* — mootoriolukord, $n > 0$, *D'* — mootoriolukord $n < 0$

TRU Raamatukogu

remonditud traktorimootorile sünkroonpöörlemissagedusest suurem pöörlemissagedus. Asünkroonmootor, mis enne mootorina käitas sissetöötatavat remonditud mootorit, hakkab siis andma generaatorina energiat võrku tagasi. Mida suurem on mootori pöörlemissageduse erinevus sünkroonpöörlemissagedusest, seda suurema võimsusega toidetakse võrku. Üldiselt ei ole see kiiruskasv suur. Asünkroongeneraatori võimsus võrdub mootori nimivõimsusega ja ta pöörleb 2...6%-lise negatiivse libistusega, mille väärtus sõltub mootori võimsusest.

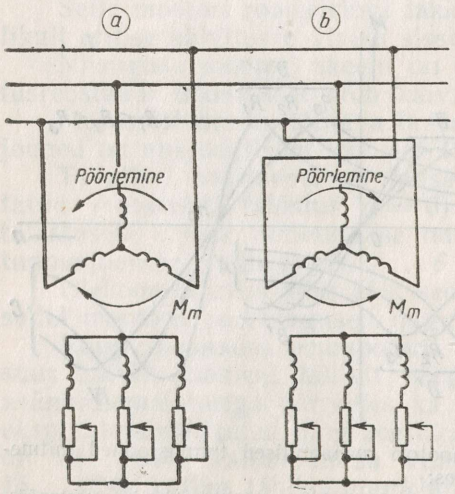
Generaatorpidurdust rakendatakse sageli metallitöötlemispinkide ajamites, tõstukites ja ekskavaatorites, milles kasutatakse muudetava poolusepaaride arvuga mootoreid. Pidurdusenergia tagastamisega võrku on sellisel juhul võimalik ainult osaliselt — väiksemalt poolusepaaride arvult suuremale ümberlülitamisel. Nii pidurduvad metallilõikepingid ainult seni, kuni süsteemi pöörlemissagedus on vähenenud mootori suuremale poolusepaaride arvule vastava pöörlemissageduseni. Edasine pidurdamine toimub samuti nagu reguleeritavate rööpergutusmootorite korralgi, s. t. süsteemi mehaanilise isepidurdumise arvel.

Vastulülituspidurdus on võimalik kahel viisil: 1) langetuspidurdusena ja 2) mootori käigu peal staatorimähise kahe faasi ümberlülitamisega.

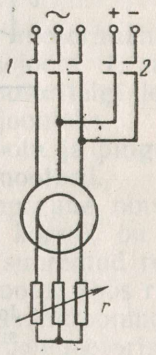
Langetuspidurduse olukorras (joon. 45,*a*) töötab asünkroonmootor siis, kui ta on lülitatud ühes suunas pöörlemisele, koormuse mõjul aga pöörleb vastupidises suunas. Sellele olukorrale vastavad mehaanilised tunnusjooned paiknevad päripöörlemisele lülitatud mootori korral II veerandis ja vastupöörlemisele lülitatud mootori korral IV veerandis.

Kõik II veerandis paiknevad mehaanilised tunnusjooned ei taga aga stabiilset langetuspidurdust. Voolu piiramiseks ja nimetatud olukorras töötamist võimaldavate tunnusjoonte saavutamiseks lülitatakse rootoriringi vastavalt arvutatud lisatakistus.

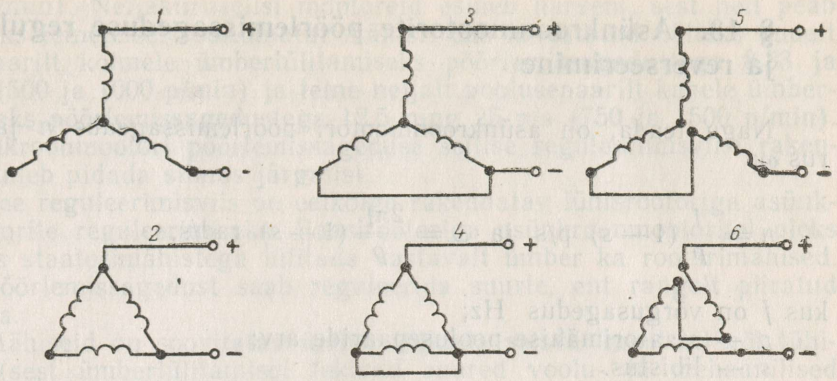
Mootori käigu peal staatorimähise kahe faasi ümberlülitamisega tekitatav vastulülituspidurdus (joon. 45,*b*) põhineb sellel, et faaside ümberlülitamisel magnetvälja pöörlemissuund muutub. Tekib pidurdusmoment vastavalt II ja IV veerandis paiknevatele mehaanilistele tunnusjoontele (joon. 44). Rootori pöörlemissagedus seejuures väheneb. Kui mootori pöörlemissagedus läheneb nullile, on vaja mootor võrgust välja



Joon. 45. Asünkroonmootori lülituste skeemid:
a — langetuspidurduse olukorras ($n < 0$); *b* — vastulülituspidurdus ($n > 0$)



Joon. 46. Asünkroonmootori skeem dünaamilise pidurduse olukorras

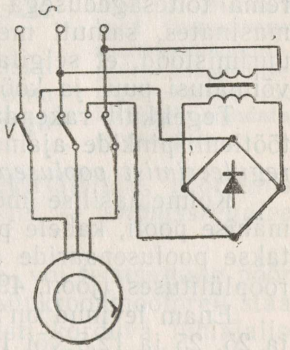


Joon. 47. Staatorimähiste lülituste skeeme dünaamilisel pidurdusel

lülitada. Vastasel juhul ta reverseerub, s. t. hakkab pöörlema vastupidiselt selle mootoriolukorra pöörlemissuunale, millelt ta pidurdusolukorda lülitati.

Et käigu peal kahe faasi ümberlülitamisega kaasneb voolu järsk tugevnemine staatori- ja rootorimähistes, tuleb enne sellist ümberlülitamist tingimata lülitada rootoriringi lisatakistus.

Asünkroonmootori *dünaamilisel pidurdusel* lülitatakse mootor (kontaktide *1* kaudu) võrgust välja, staatorimähisesse juhitakse (kontaktide *2* kaudu) alalisvool ja rootorimähis lühistatakse läbi reguleeritava välistakisti *r* (joon. 46). Et staatorimähist läbib alalisvool, tekib mootori õhupilus püsiv magnetväli. Pöörleva mootori mähistes tekib aga vahelduvvool, mis koos staatori magnetväljaga tekitab pidurdava momendi. Selle momendi väärtust ja iseloomu mõjutavad staatori magneetimisergutus, rootori pöörlemissagedus ja rootoriringi takistus.



Joon. 48. Asünkroonmootori skeem dünaamilisel pidurdusel staatorimähiste toitmisel pooljuhtalaldi kaudu

Dünaamilise pidurdusolukorra mehaanilised tunnusjooned on kujutatud joonisel 44 II ja IV veerandis. Nad läbivad koordinaadistiku alguspunkti, sest siis, kui pöörlemissagedus võrdub nulliga, on selles olukorras ka pidurdusmoment võrdne nulliga.

Maksimaalne pidurdusmoment on võrdeline staatorile rakendatud pinge ruuduga ega sõltu rootoriringi takistusest, viimane aga määrab maksimaalmomendile vastava libistuse.

Joonisel 47 on kujutatud lihtsamad ja sagedamini rakendatavad staatorimähiste lülitused mähiste toitmisel alalisvooluga iseseisvast alalisvooluallikast või vahelduvvooluvõrgust alaldi kaudu.

Joonisel 48 on kujutatud lühisrootoriga asünkroonmootori elektrilülitus dünaamilisel pidurdusel, kui staatorit toidetakse pooljuhtalaldi kaudu.

§ 13. Asünkroonmootorite pöörlemissageduse reguleerimine ja reverseerimine

Nagu teada, on asünkroonmootori pöörlemissagedus n ja nurkkiirus ω:

$$n = \frac{f}{p}(1 - s) \text{ p/s ja } \omega = \frac{2\pi f}{p}(1 - s) \text{ rad/s,} \qquad (50)$$

kus f on võrgusagedus Hz;
p — staatorimähise poolusepaaride arv;
s — libistus.

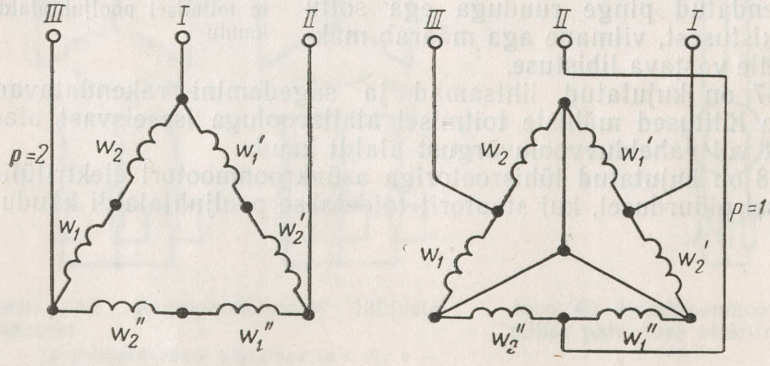
Valemist (50) järeldub, et *asünkroonmootori pöörlemissagedust saab muuta kolmel viisil: 1) võrgusageduse f muutmisega; 2) staatorimähise poolusepaaride arvu muutmisega; 3) takistuse r_r lülitamisega rootoriringi,* et suurendada libistust. Kolmas viis on võimalik ainult faasmootori kiiruse reguleerimisel.

Pöörlemissageduse reguleerimine võrgusageduse muutmisega nõuab muudetava sagedusega generaatorit, sünkroon- või asünkroonsagedusmuundurit. Sel viisil saab reguleerida pöörlemissagedust väga sujuvalt ja suures ulatuses. Kuid lisaagregaat teeb seadmestiku keerukaks ja kalliks, mistõttu sellist reguleerimisviisi senini põllumajanduses ei rakendata. Küll aga kasutatakse suurema toitesagedusega asünkroonmootoreid koos vastava vahelduvvoolugeneraatoriga. Näiteks kasutatakse suurema toitesagedusega (200 Hz) vahelduvvoolumootoreid lambapügamismasinates, samuti metsatööstuses elektrisaagide käitamiseks. Tehakse uurimistööd, et selgitada suurema toitesagedusega mootorite kasutamise võimalusi puu- ja köögiviljaaedade käsitööriistade käitamiseks.

Tegelikult rakendatakse kõige rohkem, eriti reguleeritavate metallitöötlemispinkide ajamites, pöörlemissageduse teist reguleerimisviisi — *reguleerimist poolusepaaride arvu muutmisega.*

Kolmefaasilise mootori ühele poolusepaarile vastab kolm staatorimähise pooli, kahele poolusepaarile — kuus pooli jne. Tavaliselt muudetakse poolusepaaride arvu faasimähiste poolide ümberlülitamisega jadarööplülituses (joon. 49).

Enam levinud on kahekiiruselised mootorid pöörlemissagedustega 50 ja 25, 25 ja 12,5 või 16,7 ja 8,33 p/s (3000 ja 1500, 1500 ja 750 või 1000



Joon. 49. Mähiste jada-rööplülituste skeemid

ja 500 p/min). Neljakiiruselisi mootoreid esineb harvem, sest neil peab olema kaks teineteisest sõltumatut mähist: üks arvestatud näiteks kuuelt poolusepaarilt kolmele ümberlülitamiseks pöörlemissagedustega 8,33 ja 16,7 p/s (500 ja 1000 p/min) ja teine neljalt poolusepaarilt kahele ümberlülitamiseks pöörlemissagedustega 12,5 ning 25 p/s (750 ja 1500 p/min).

Asünkroonmootori pöörlemissageduse sellise reguleerimisviisi rakendamisel tuleb pidada silmas järgmist.

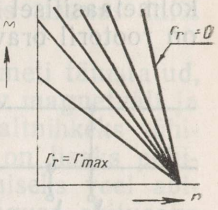
1. See reguleerimisviis on eelkõige rakendatav lühisrootoriga asünkroonmootorite reguleerimiseks. Faasirootoriga asünkroonmootoritel oleks vaja koos staatorimähistega lülitada vastavalt ümber ka rootorimähised.

2. Pöörlemissagedust saab reguleerida suurte, ent rangelt piiratud astmetena.

3. Mähiseid on soovitatav ümber lülitada seisval mootoril või tühijooksul (sest ümberlülitamisel tekivad suured voolu- ja mehaanilised tõuked).

Pöörlemissageduse reguleerimisel rootoriringi lülitatava reostaadiga saadakse mehaanilised tunnusjooned, mis on kujutatud joonisel 50.

Sellel reguleerimisviisil on samad puudused, mis esinevad alalisvoolu-rööpergutusmootori reguleerimisel takistite lülitamisega ankruringi. Seepärast rakendatakse seda reguleerimisviisi väga harva, peamiselt väikeste pöörlemissageduste lühiajaliseks saavutamiseks. Tuleb meeles pidada, et käivitusreostaadiga pöörlemissagedust reguleerida ei või, sest käivitusreostaat ei ole kestevkoormusele arvestatud ja võib seetõttu läbi põleda. Reguleerimiseks kasutatakse erireostaati.



Joon. 50. Mehaanilised tunnusjooned asünkroonmootori pöörlemissageduse reguleerimisel rootoriringi ühendatud reostaadiga

Asünkroonmootori reverseerimiseks (pöörlemissuuna muutmiseks) on ainult vaja vahetada omavahel mistahes kaks staatoriga ühendatud võrgujuhet.

Viimasel ajal on alalis- ja vahelduvvoolu-elektriajamite pöörlemissageduse reguleerimisel kasutusele võetud uus viis — *impulssreguleerimine.*

Selle reguleerimisviisi puhul saavutatakse ühe- või teistsugune pöörlemissagedus mootori ankru (staatori) enese või asünkroonmootoreil staatori-, alalisvoolumootoreil aga ankruringi lisatakisti korduva lühiajalise sisse- ja väljalülitamisega. Mõnedes lülitustes vaheldub elektrimootori töötamine korduvalt mootori- ja pidurdusolukorras. Mootori kindla kestuse ja sagedusega ümberlülitamise tulemuseks on teatud keskmine pöörlemissagedus.

Elektriajami impulssreguleerimist iseloomustav oluline suurus on impulsi suhteline kestus

$$\varepsilon = \frac{t_1}{t_1 + t_2}, \qquad (51)$$

kus t_1 on impulsi kestus (sisselülitatud olek);
t_2 — vaheaja kestus (väljalülitatud olek).

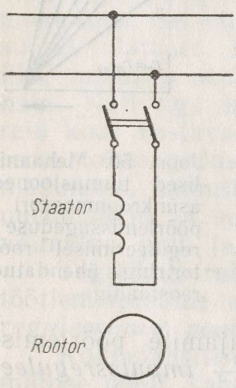
Impulssreguleerimisega süsteemide töö analüüs tõendab, et teatud püsikoormusel on mootori pöörlemissagedus seda suurem, mida suurem on ε, ja teatud ε väärtuse puhul on pöörlemissagedus seda suurem, mida väiksem on koormus.

Impulssreguleerimine on võimalik nii alalis- kui ka vahelduvvoolumootorite puhul. Pöörlemissagedust saab reguleerida suures ulatuses.

Senini ei ole impulssreguleerimine tootmises veel kuigi laialdaselt levinud, mis on mõningal määral seletatav tema keerukusega ja juhtimisaparatuuri (kontaktorite, releede) raskete töötingimustega. Aparatuur töötab siin suure lülitamissagedusega ja talle esitatakse erakordselt suuri nõudmisi lülitamiskiiruse ja -täpsuse ning usaldatavuse suhtes. Sellest hoolimata rakendatakse impulssreguleerimist siiski väikese võimsusega elektriajamites, näiteks lennunduse abiseadmetes, järgivsüsteemides jm.

§ 14. Ühefaasiline asünkroonmootor

Ühefaasilist asünkroonmootorit toidetakse ühefaasilisest vahelduvvooluvõrgust. Oma algkujul, s. t. ilma igasuguste käivitusabinõudeta, on selle mootori staatoril üksainus mähis. Rootor võib olla samasugune nagu kolmefaasilisel mootoril. Enamasti, eriti väikese võimsusega mootoritel, on rootoril oravikmähis (joon. 51).



Joon. 51. Ühefaasilise asünkroonmootori põhimõtteskeem

Ühefaasiline staatorimähis tekitab vahelduvmagnetvälja, mis muutub järgmise seaduspärasuse järgi:

$$\Phi_t = \Phi_m \sin \omega t \cos \frac{\pi}{\tau} x. \tag{52}$$

On teada, et vahemikus $+\Phi_m$ kuni $-\Phi_m$ pulseeriva magnetvälja võib asendada kahe magnetväljaga Φ_1 ja Φ_2, mille amplituudid on omavahel võrdsed $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_m/2$. Need magnetväljad pöörlevad toitepinge sagedusega vastupidistes suundades. Pöörlevad magnetväljad Φ_1 ja Φ_2, lõikudes rootorimähistega, tekitavad pöördemomendid M_1 ja M_2, mis mõjuvad rootorile vastupidistes suundades.

$$M_1 = k\Phi_1 I_1 \cos \psi_1 \tag{53}$$

ja

$$M_2 = k\Phi_2 I_2 \cos \psi_2, \tag{54}$$

kus k on mingi konstant;

I_1 ja I_2 — rootorivoolud, mis tekivad neile vastavate elektromotoorjõudude E_1 ja E_2 mõjul;

ψ_1 — faasinihkenurk voolu I_1 ja elektromotoorjõu E_1 vahel;

ψ_2 — faasinihkenurk I_2 ja E_2 vahel.

Kui võtta Φ_1 päriväljaks, s. t. väljaks, mis pöörleb rootori soovitud pöörlemisega ühesuguses suunas, Φ_2 aga vastuväljaks, võime kirjutada:

$$I_1 = \frac{E_1 s}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}}; \quad \cos \psi_1 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}}. \tag{55}$$

ja

$$I_2 = \frac{E_2(2-s)}{\sqrt{r_2^2 + (2-s)^2 x_2^2}}; \quad \cos \psi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (2-s)^2 x_2^2}}, \tag{56}$$

kus E_1 ja E_2 on elektromotoorjõud rootoris, kui $s = 1$;

s — libistus päriväljа suhtes;

r_2 — rootorimähise tegevtakistus;
x_2 — rootorimähise induktiivtakistus seisva rootori korral.

Joonisel 52 on toodud momentide M_1 ja M_2 kõverad sõltuvalt libistusest s. Ühefaasilise mootori resulteeriv moment M on võrdne päri- ja vastasvälja poolt tekitatud momentide algebralise summaga.

Kui $s = 1$ (rootor seisab), on ühefaasilise mootori momentide summa võrdne nulliga (joon. 52). Selles võib veenduda ka valemite (53) ... (56) põhjal, kust selgub, et $s = 1$ puhul $M_1 = M_2$. See ühefaasilise mootori iseloomulik omadus on tema peamine puudus: tal ei teki käivitusmomenti ja seetõttu ta ei käivitu.

Selleks et ühefaasilisel mootoril tekiks pöördemoment, on talle vaja anda välisjõu mõjul esialgne pöörlemine. Koormuseta ülesjooksul võib pöörlemissagedus olla väike, kuid koormatuna peab see olema ligilähedane sünkroonpöörlemissagedusele.

Saanud küllaldase pöörlemissageduse, jätkab ühefaasiline asünkroonmootor pöörlemist iseseisvalt: ta tekitab momendi M ja tema ülesjooks toimub vastavalt mehaanilisele tunnusjoonele.

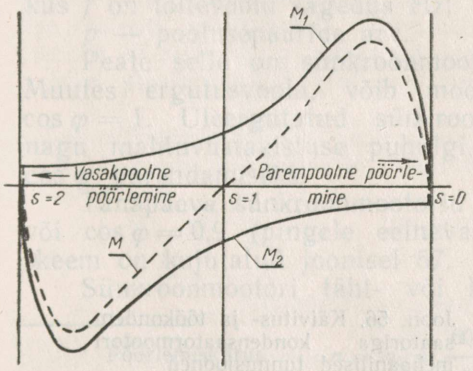
Rootori pöörlemissuund sõltub täielikult sellest, mis suunas talle välisjõuga, näiteks abimootori poolt, hoogu antakse.

Tegelikult kasutatavaid ühefaasilisi mootoreid on mitmeti täiustatud, et staatorimähist ühefaasilise vooluga toites tekiks pöörlev magnetväli ja pöördemoment, millest piisaks mitte ainult mootori paigaltnihkeks tühijooksul, vaid ka ülesjooksuks koos töömasinaga. Selleks on lisaks põhilisele töömähisele paigutatud staatori uuretesse käivitamiseks veel abimähis. Sel põhimõttel on loodud hulk eri tüüpi ja erisuguse ehitusega ühefaasilisi mootoreid. Esineb mootoreid, mille abimähise vooluringi on ühendatud tegev-, induktiiv- või mahtuvustakistus. Põllumajanduses on kahtlemata kõige otstarbekam kondensaatorkäivitusega ühefaasiline asünkroonmootor ehk kondensaatormootor.

Kondensaatormootoril on teist tüüpi ühefaasiliste mootoritega võrreldes mitmeid eeliseid.

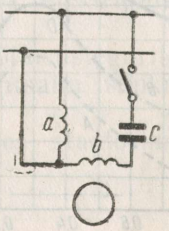
Tema käivitusmoment ja $\cos\varphi$ on tunduvalt suuremad kui abimähise vooluringi ühendatud tegev- või induktiivtakistusega ühefaasilistel mootoritel. Kondensaatormootori $\cos\varphi$ võib tegelikult olla peaaegu 1. On võimalik valida selline mahtuvus, et kondensaatormootori käivitusmoment on tunduvalt suurem kui nimimoment ja mitu korda suurem kui täiendava tegev- või induktiivtakistusega mootorite käivitusmoment.

Ka maksimaalmoment on kondensaatormootoril ühesuguse voolu korral tunduvalt suurem kui teistel mootoritel.



Joon. 52. Ühefaasilise asünkroonmootori mehaanilised tunnusjooned

Joon. 53. Kondensaatormootori põhimõtteskeem

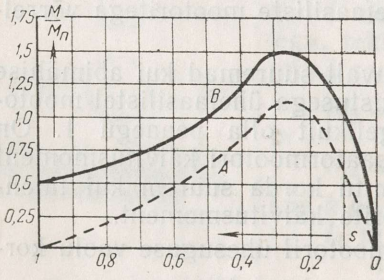


Joonisel 53 on esitatud kondensaatormootori põhimõtteskeem. Sellel skeemil on *a* põhiline töömähis, mis enamasti hõlmab 2/3 staatori uuretest, ja *b* — abimähis, mis hõlmab 1/3 staatori uuretest. Abimähise telg on töömähise telje suhtes tavaliselt 90 elektrilise kraadi võrra ruumis nihutatud.

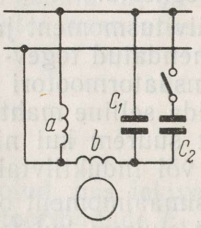
Abimähise *b* vooluringi on jadamisi ühendatud kondensaator *C*, mille mahtuvus on valitud nii, et abimähist ja töömähist läbivad voolud oleksid ligikaudu 90° võrra faasis nihutatud. Mähiste omavaheline paiknemine 90° all ja mähiseid läbivate voolude 90°-ne faasinihe loovad tingimused, mis sarnanevad sümmeetrilise kahefaasilise mootori tingimustega. Abimähise vooluringis olev sobivalt valitud kondensaator aga, mis tekitab faasis eelneva voolu, suurendab momenti ja kasutegurit ning parendab $\cos\varphi$-d. Joonisel 54 on kujutatud joonisel 53 esitatud lülituses kondensaatormootori mehaaniline tunnusjoon. Kõver *A* (joon. 54) kujutab ühefaasilise mootori tunnusjoont väljalülitatud ja kõver *B* sisselülitatud abimähise *b* (joon. 53) korral.

Käivitus- ja maksimaalmoment sõltuvad kondensaatori *C* mahtuvusest. On võimalik valida selline mahtuvus, et käivitusmoment on nimimomendist mitu korda suurem. Seda piirab aga eelkõige abimähise ülekuumenemine. Suure mahtuvuse korral tekib abimähises *b* liiga tugev vool, voolud muutuvad asümmeetrilisteks ja ringikujuline pöördväli elliptiliseks ning mootori kasutegur väheneb. Arvutused ja katsed tõendavad, et kondensaatormootor töötab kestvalt ülekuumenemata ja tema energeetilised omadused on head niisuguse mahtuvuse korral, mille puhul käivitusmoment on 45 . . . 50% nimimomendist.

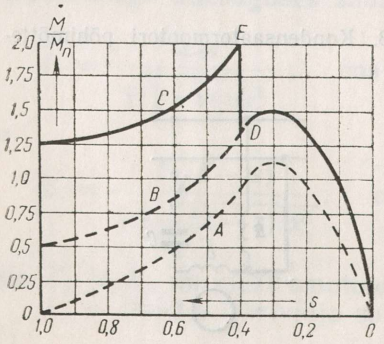
Sellise käivitusmomendiga mootor vastab paljude põllumajandusmasinate (tuulajate, sorteerijate, söödajaoturite) ajamite ja ka koduste



Joon. 54. Üheainsa kondensaatoriga kondensaatormootori mehaaniline tunnusjoon



Joon. 55. Käivitus- ja töökondensaatoriga kondensaatormootori skeem



Joon. 56. Käivitus- ja töökondensaatoriga kondensaatormootori mehaanilised tunnusjooned

majapidamisriistade (tsentrifugaalpumpade, ventilaatorite, tolmuimejate) väikeajamite nõuetele.

Ajamites, mis nõuavad suurt käivitusmomenti, kasutatakse joonisel 55 kujutatud kahe kondensaatoriga ühefaasilist kondensaatormootorit. Kondensaator C_1 on sisse lülitatud käivitamisel ja tööolukorras. Tema mahtuvus on valitud nii, et see tagab voolude sümmeetria ja vajaliku $\cos\varphi$ nimikoormusel. Kondensaator C_2 lülitatakse sisse ainult käivitamise ajaks, et elektriajami ülesjooksuks vajalik käivitusmoment oleks suurem. Joonisel 56 on kujutatud joonisel 55 esitatud lülitusele vastava mootori mehaanilised tunnusjooned. Kõver *A* kujutab mootori mehaanilist tunnusjoont, mis kujuneks siis, kui abimähis *b* oleks välja lülitatud. Kõver *B* vastab mootori käivitamisele väljalülitatud kondensaatoriga C_2 ja kõver *C* olukorrale, mil mõlemad kondensaatorid C_1 ja C_2 on sisse lülitatud.

Mootor käivitub tunnusjoone *C* järgi. Kui mootori pöörlemissagedus $n_1 = 0{,}6n_0$, lülitatakse kondensaator C_2 välja ja mootor siirdub tunnusjoonelt *C* (punktis *E*) tunnusjoonele *B* (punktis *D*), mis kõige paremini vastab kestva töötamise nõuetele. Kondensaator C_2 lülitub mootori teatud pöörlemissagedusel välja sageli automaatselt.

Kondensaatormootori pöörlemissagedust võib reguleerida niisamuti nagu kolmefaasilise asünkroonmootori pöörlemissagedust.

Pöörlemissageduse reguleerimisel rootoriringi lülitatud reostaadiga (kui rootoril on kontaktrõngad) kujunevad veelgi halvemad töötingimused kui kolmefaasilistel mootoritel, sest reostaadi lülitamine kondensaatormootori rootoriringi vähendab maksimaalmomenti ja mootori ülekoormatavust.

Kondensaatormootori pöörlemissuuna muutmiseks on vaja omavahel vahetada ühe mähise — kas abimähise või töömähise — otsad.

§ 15. Sünkroonmootor, tema mehaaniline ja nurgatunnusjoon

Sünkroonmootoril on omadus rangelt säilitada püsivat pöörlemissagedust, mis sõltub ainult toitevoolu sagedusest.

Sünkroonmootori pöörlemissagedus *n* ja nurkkiirus *u*:

$$n = n_0 = \frac{f}{p} \text{ p/s} \quad \text{ja} \quad \omega = \omega_0 = \frac{2\pi f}{p} \text{ rad/s}^1 \tag{58}$$

kus *f* on toitevoolu sagedus Hz;

p — poolusepaaride arv.

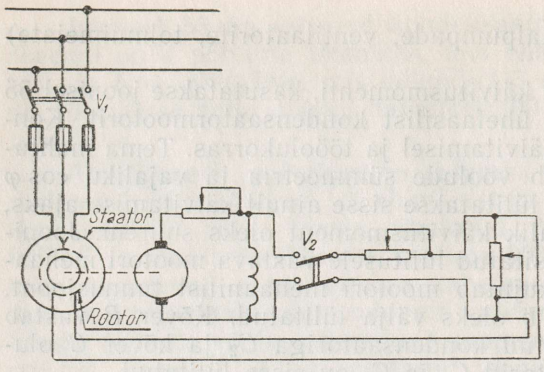
Peale selle on sünkroonmootoril väga hea võimsustegur ($\cos\varphi$). Muutes ergutusvoolu, võib mootori koormusest sõltumata säilitada $\cos\varphi = 1$. Üleergutatud sünkroonmootori voolu, mis eelneb pingele nagu mahtuvustakistuse puhulgi, võib kasutada elektrijõuseadmestiku $\cos\varphi$ parendamiseks.

Tänapäeva sünkroonmootorid arvutatakse võimsustegurile $\cos\varphi = 1$ või $\cos\varphi = 0{,}9$ (pingele eelneva vooluga). Lihtsaim sünkroonmootori skeem on kujutatud joonisel 57.

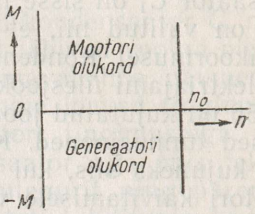
Sünkroonmootori täht- või kolmnurklülituses staatorimähis, mida

---

[1] Pöörlemiskiirus $n = n_0 = \frac{60f}{p}$ p/min. *Tõlk.*



Joon .57. Vahetult võrku lülitamisega käivitatava sünkroonmootori skeem



Joon. 58. Sünkroonmootori mehaaniline tunnusjoon

toidetakse kolmefaasilisest võrgust, tekitab pöörleva magnetvälja. Rootor on tavaliselt kujundatud väljapoolustega, mille ergutusmähisesse juhitakse alalisvool.

Sünkroonmootori käivitamisel suletakse ergutusmähis läbi induktiivsusvaba takistuse, mis on ergutusmähise tegevtakistusest ligikaudu 10 korda suurem. Viimase aja lülitustes jäetaksegi see takistus ergutusmähisega rööbiti ühendatuks, et vältida suure keerdude arvuga ergutusmähise vooluringi katkemist. Kui ergutusmähis jääks käivitamisel, mil $s = 1$, millegipärast katkestatuks, indutseeruks temas 5 ... 10-kV elektromotoorjõud, mis on ohtlik mootorile ja teenindavatele isikutele. See takistus osutub asünkroonkäivitusel kasulikuks ka mootori poolt arendatava momendi mõttes.

Kui mootori pöörlemissagedus on juba $0{,}95n_0$, lülitatakse sisse vinnaklüliti V_2. Ergutusmähist läbib nüüd alalisvool ja mootor sünkroniseerub.

Sünkroonmootor arendab talle omast sünkroonmomenti ainult sünkroonpöörlemissagedusel.

Sünkroonmootori mehaaniliseks tunnusjooneks on ordinaatteljega rööbitine sirge (joon. 58). See tähendab, et sünkroonmootor pöörleb püsiolukorras jääva pöörlemissagedusega igasugusel koormusel — tühijooksust kuni maksimaalmomendini. Muutlik koormus põhjustab aga mootori võlli pöörlemissageduse hetkelisi kõikumisi keskväärtuse ümber. See kõikumine tekib pinge U ja sünkroonmasina elektromotoorjõu E vahelise faasinihkenurga Θ muutumise tõttu. Elektromotoorjõud E sõltub sünkroonmootori poolt arendatavast momendist. Ruumiliselt vastab see faasinihkenurk Θ (elektrilistes kraadides) ligikaudu pöördvälja ja rootori magnetpooluste poolt tekitatava magnetvoo telgede vahelisele nihkenurgale.

Sünkroonmootori momendi M ja pinge ning elektromotoorjõu vahelise faasinihkenurga Θ vahelist sõltuvust nimetatakse nurgatunnusjooneks.

Analüütiliselt on see sõltuvus järgmine:

$$M = M_{max} \sin \Theta, \tag{59}$$

kus M_{max} on antud sünkroonmootori maksimaalmoment.

Nurgatunnusjoon on kujutatud joonisel 59.

Nagu jooniselt nähtub, suureneb koormuse suurenedes mootori võllil

ka nihe rootori pooluste telje ja pöördvälja telje vahel. Nurk Θ suureneb. Ülekoormusel võib rootor nihkuda nurga $\Theta = \pi/2$ võrra.

Tegelikult on see nurk veidi väiksem ja võrdub $\pi/2 - \beta$, kus $\beta = \text{arctg}\, r/x$ (r on staatori ühe faasi tegevtakistus, x — staatori ühe faasi sünkroonne ebatakistus).

Nurk β on väike, sest sünkroonmootoritel $r/x = 0{,}05 \ldots 0{,}1$. Koormuse edasisel suurenemisel ($\beta > \pi/2$) langeb mootor sünkronismist välja ja jääb seisma.

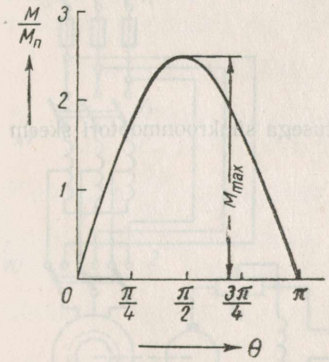
Vastavalt standardile ГОСТ 183-55 on sünkroonmootori maksimaalmoment nimipinge, nimisageduse ja mahtuvusliku võimsusteguri (0,9) puhul $M_{max} \geqslant 1{,}65 M_n$. Meie tehastes toodetavad mootorid arendavad nimetatud tingimustel maksimaalmomenti $M_{max} = (2 \ldots 2{,}5) M_n$.

Kui on olemas pöördväli, rootori ergutusmähise vooluring on suletud ning esinevad hüstereesi- jm. nähtused, arendab sünkroonmootor teatavat käivitusmomenti, mis on aga käivitumiseks liiga väike. Niisugune pöördemoment tekib seetõttu, et pöördväli lõikab ergutusmähise keerdusid ja indutseerib nendes elektromotoorjõu. Viimane tekitab voolu, mis koos pöördväljaga kutsub esile jõu. Peale selle tekivad pöördemomendid pöörisvooludest ja hüstereesi tõttu ning (väljepoolustega mootoril) reaktiivmoment. Koos käitavate momentidega, mis püüavad pöörata rootorit pöördvälja suunas, tekivad aga ühtlasi ka pidurdavad momendid. Mootori iseloomustussuurusi on võimalik valida selliselt, et loetletud osamomentidest moodustuva resulteeriva momendi väärtus on $(0{,}2 \ldots 0{,}3) M_n$, millest aga kaugeltki ei piisa sünkroonmootori käivitumiseks, eriti kui see toimub mitte tühijooksul, vaid koormuse all. Sellega ongi seletatav, et sünkroonmootorite kasutuselevõtu algaegadel kasutati nende käivitamiseks abimootoreid. Koormuse all käivitamisel pidi abimootori võimsus olema peaaegu võrdne sünkroonmootori võimsusega, mis muutis seadmestiku väga keerukaks ja kalliks.

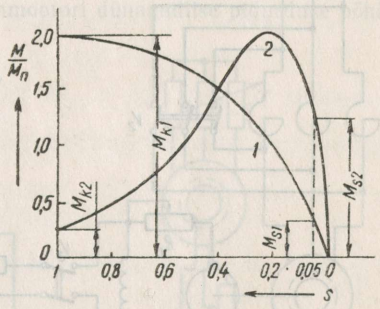
Tänapäeval sünkroonmootoreid enam selliselt ei käivitata. Nüüd paigutatakse sünkroonmootorite poolusekingadesse eriline käivitusmähis, mille abil sünkroonmootorid käivituvad tavaliste lühisrootoriga asünkroonmootoritena.

Sellise sünkroonmootori käivitusolukorra mehaanilised tunnusjooned on samasugused nagu asünkroonmootoritelgi. Tunnusjoonte kuju sõltub käivitusmähise tegevtakistusest.

Joonisel 60 on kujutatud tüüpilised kõverad, mis näitavad momendi



Joon. 59. Sünkroonmootori nurgatunnusjoon



Joon. 60. Sünkroonmootori mehaaniline tunnusjoon asünkroonkäivitusel

sõltumust libistusest. Kõver *1* on saadud suure tegevtakistusega (messingist) käivitusmähise puhul, kõver *2* aga väikese tegevtakistusega (vasest) käivitusmähise puhul.

Kumb nendest tüüpilistest tunnusjoontest sobib siis sünkroonmootori asünkroonkäivituseks enam?

Sellele küsimusele võib vastata siis, kui on teada, milliseid nõudeid peavad need tunnusjooned rahuldama.

Sünkroonmootori käivituse seisukohalt on eriti olulised kaks pöördemomenti:

1) käivitusmoment M_k, mille mootor tekitab rootori seistes, mil $s = 1$;

2) sisendmoment M_s, mida mootor arendab pöörlemissagedusel 95% sünkroonpöörlemissagedusest, mil $s = 0{,}05$.

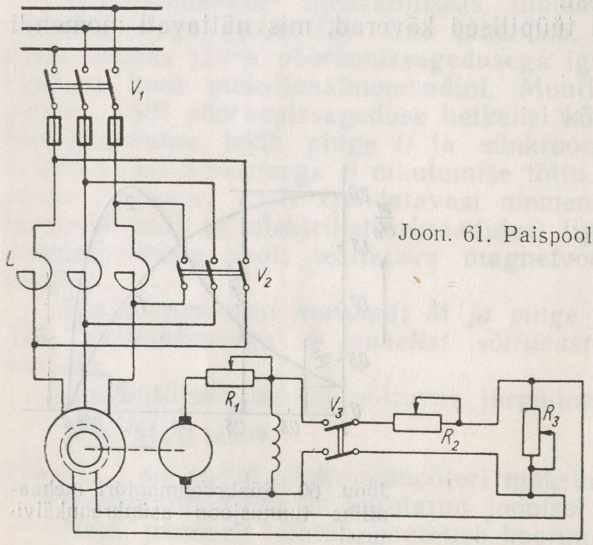
Selleks et tagada süsteemi paigaltnihet ja küllalt kiiret ülesjooksu, peab käivitusmoment olema mootorist ja masinast koosneva süsteemi paigaltnihkemomendist suurem.

Sisendmoment peab olema suurem momendist, mida on vaja töömasina käitamiseks pöörlemissagedusel 95% sünkroonpöörlemissagedusest, et mootor saavutaks selle kiiruse ja pärast ergutusmähisesse alalisvoolu sisselülitamist sünkroniseeruks.

Nagu kõveratest *1* ja *2* (joon. 60) selgub, tagab suure tegevtakistusega käivitusmähis suure käivitusmomendi ja väikese sisendmomendi. Väikese tegevtakistusega mähise puhul tekib suhteliselt väike käivitusmoment ja suur sisendmoment.

Tänapäeva töömasinad nõuavad väga mitmesugust momentide vahekorda. Ventilaatorite käivitusmoment on tühine. Nende moment kasvab võrdeliselt pöörlemissageduse ruuduga ja saavutab nimiväärtuse alles nimipöörlemissagedusel. Tsentrifugaalpumpadel on ventilaatori tunnusjoontega sarnased tunnusjooned. Koorelahutid nõuavad suuremat käivitusmomenti, mootori normaalses tööolukorras aga kogu nimimomenti nad ära ei kasuta. Savisõtkurite käivitusmoment on nimimomendist 2 ... 3 korda suurem.

On aga olemas ka mitmesuguseid masinaid, mille käivitus- ja sisendmoment moodustavad ainult 20 ... 25% nimimomendist. Nende hulka kuulub enamik metallitöötlemispinke, mis käivitatakse ilma koormuseta.



Joon. 61. Paispoolkäivitusega sünkroonmootori skeem

Käivitusmähise tunnussuuruste muutmise ja erisuguse konstruktiivse lahenduse valikuga võib saavutada käivitus- ja sisendmomendi vahel sellise vahekorra, mida sünkroonmootori asünkroonkäivitusel ühe või teise töömasina korral just vaja on.

Tänapäeva tavalised asünkroonkäivitusega sünkroonmootorid valmistatakse nii, et nende käivitusmoment on $(0{,}85 \ldots 1{,}25)M_n$, sisendmoment aga võrdub käivitusmomendiga. Kolbkompressorite aeglasekäiguliste sünkroonmootorite käivitusmoment pöörlemissagedusel 8,33 p/s (500 p/min) ja alla selle on $0{,}4M_n$ ja sisendmoment $0{,}3M_n$.

Kogemused tõendavad, et toodetavate sünkroonmootorite omadused vastavad nende momentide osas enamiku ajamite nõuetele.

Sünkroonmootorite täispingega käivitamisel tekib nimivoolust 5 ... ... 7,5 korda tugevam vool. Mõnikord ei ole see otstarbekas, sest sellega häiritakse teiste tarbijate ja kaitseaparatuuri normaalset tööd. Kui käivitustingimused ei nõua mootorilt kogu käivitusmomendi arendamist, võib voolukordsust vähendada mitmesuguste käivitusseadmetega, mis alandavad mootori klemmipinget käivituse ajaks. Selliste seadmetena kasutatakse paispooli, autotrafot või mõlemaid koos.

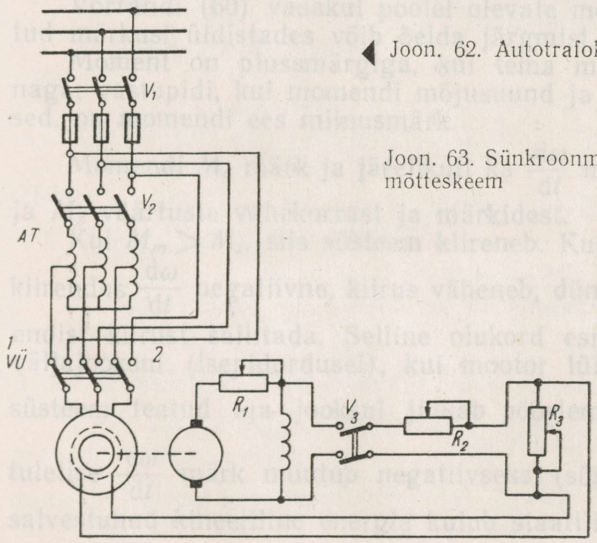
Joonisel 61 on kujutatud paispoolkäivitusega sünkroonmootori lülitus. Sel juhul lülitatakse algul sisse ainult vinnaklüliti V_1. Kui mootor on saavutanud sünkroonpöörlemissagedusele lähedase pöörlemissageduse, lülitatakse sisse vinnaklüliti V_2, mis lühistab paispooli L. Seejärel lülitatakse vinnaklülitiga V_3 sisse ergutus ja mootor hakkab tööle normaalolukorras.

Paispool alandab mootori klemmipinget, mistõttu käivitusvool nõrgeneb. Kui mootori klemmipinget alandada m korda, nõrgeneb ka vool toitevõrgus ja mootori mähistes m korda, käivitusmoment aga väheneb m^2 korda. Seda käivitusmomendi vähenemist tuleb paispoolkäivitusel arvestada.

Käivitusmomendi mõttes paremad tingimused loob käivitamine läbi autotrafo, s. o. autotrafokäivitus.

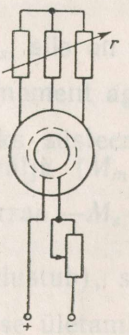
Autotrafokäivitusega sünkroonmootori lülitus on kujutatud joonisel 62.

Selles lülituses käivitamisel lülitatakse mootor võrku vinnaklüliti-



◀ Joon. 62. Autotrafokäivitusega sünkroonmootori skeem

Joon. 63. Sünkroonmootori dünaamilise pidurduse põhimõtteskeem



tega V_1 ja V_2 ning vinnakümberlülitiga *VÜ*. Selleks et lülitada mootor võrku läbi autotrafo, tuleb pöörata ümberlüliti *VÜ* asendisse *1*. Kui pöörlemissagedus on saavutanud sünkroonpöörlemissagedusele lähedase väärtuse, pööratakse ümberlüliti *VÜ* kiiresti asendisse *2*, vinnaklüliti V_2 lülitatakse välja ja vinnaklüliti V_3 sisselülitamisega juhitakse ergutusmähisesse alalisvool. Sellega on käivitamine lõppenud.

Kui autotrafokäivitusel käivitusvool võrgus nõrgeneb *m* korda, väheneb ka käivitusmoment *m* korda. Selles seisnebki autotrafokäivituse eelis paispoolkäivituse ees. Tõsi, käivitusvool mootoris väheneb seejuures ainult $\sqrt{m}$ korda, kuid sel pole olulist tähtsust. Palju olulisem on käivitusvoolu nõrgendamine võrgus, s. t. eespool autotrafot. See eesmärk on aga saavutatud.

Kõigist võimalikest pidurdusviisidest rakendatakse sünkroonmootoriga elektriajameis tegelikult vaid dünaamilist pidurdust.

Sellel pidurdusel lülitatakse sünkroonmootori staatorimähised võrgust välja ja suletakse läbi reguleeritava välistakisti *r* (joon. 63). Mida väiksem on takistus *r*, seda tugevam vool staatorimähiseid läbib ja seda jõulisem on pidurdus.

Sujuvaks pidurdamiseks on soovitatav, et momendi väärtus oleks kogu pidurduse vältel püsiv. Selleks takistust *r* järk-järgult vähendatakse.

Sünkroonmootorite pöörlemissageduse reguleerimine on võimalik ainult toitevoolu sageduse muutmisega, kuid tegelikult seda moodust sünkroonmootorite reguleerimiseks ei rakendata.

Sünkroonmootorite *reverseerimine* toimub samuti nagu asünkroonmootori pöörlemissuuna muutminegi: staatoriga ühendatud mistahes kaks toitejuhet vahetatakse omavahel ümber.

III PEATÜKK

ELEKTRIAJAMITE DÜNAAMIKA JA SIIRDEOLUKORRAD

§ 1. Elektriajami liikumisvõrrand

Pöördliikumisel kehtib mootori poolt arendatava momendi ja elektrimootorist ning töömasinast koosneva süsteemi takistusmomentide vahel seos, mida nimetatakse *elektriajami liikumisvõrrandiks*:

$$\pm M_m \mp M_s = \pm M_d = \pm J \frac{d\omega}{dt} \text{ Nm}, \qquad (60)$$

kus M_m on mootori poolt arendatav moment;

M_s — töömasina staatiline takistusmoment, taandatud mootori võllile; on peetud silmas, et töömasin sisaldab ülekandeid ja tööorganite või täiturmehhanismide süsteemi;

M_d — dünaamiline moment;

J — mootorist ja töömasinast koosneva süsteemi liikuvate osade inertsmoment, taandatud mootori võllile.

Plussmärk on M_m ees mootori töötamisel tavalises mootoriolukorras, miinusmärk aga mootori töötamisel pidurdusolukorras.

Miinusmärk M_s ees viitab staatiliste takistuste pidurdavale toimele (koorma tõstmine, lõikamine, vedru surumine); plussmärk tähendab, et M_s aitab kaasa ajami pöörlemisele (näiteks koorma langetamisel, vedru lahtikeerdumisel või surve alt vabanemisel).

Võrrandi (60) vasakul poolel olevate momentide märkide kohta tehtud märkusi üldistades võib öelda järgmist.

Moment on plussmärgiga, kui tema mõjusuund ühtib liikumissuunaga; vastupidi, kui momendi mõjusuund ja liikumissuund on vastupidised, on momendi ees miinusmärk.

Momendi M_d märk ja järelikult ka $\frac{d\omega}{dt}$ märk sõltuvad momentide M_m ja M_s väärtuste vahekorrast ja märkidest.

Kui $M_m > M_s$, siis süsteem kiireneb. Kui $M_m < M_s$, siis on süsteemi kiirendus $\frac{d\omega}{dt}$ negatiivne, kiirus väheneb, dünaamiline moment aga püüab endist kiirust säilitada. Selline olukord esineb näiteks süsteemi vabal väljajooksul (isepidurdusel), kui mootor lülitatakse välja ($M_m = 0$) ja süsteem teatud aja jooksul jätkab pöörlemist olukorras $-M_s = J \frac{d\omega}{dt}$; tuletise $\frac{d\omega}{dt}$ märk muutub negatiivseks (süsteem aeglustub), süsteemis salvestunud kineetiline energia kulub staatilise takistuse ületamiseks.

Analoogiline võrrand saadakse ka kulgliikumise kohta:

$$\pm F_m \mp F_s = F_d = m\frac{dv}{dt}, \tag{61}$$

kus F_m on mootori poolt tekitatav jõud, taandatud mingisse rihmaratta ümbermõõdul olevasse punkti;
F_s — süsteemi staatilise takistusjõu taandatud väärtus;
F_d — süsteemi dünaamilise takistusjõu (inertsjõu) taandatud väärtus;
m — süsteemi liikuvate osade mass, taandatud jõu rakenduspunkti kiirusele;
$\frac{dv}{dt}$ — liikuvate masside joonkiirendus.

On ilmne, et võrrand (61) kujutab endast lihtsat järeldust võrrandist (60).

Võrrandid (60) ja (61) võimaldavad graafiliselt ja analüütiliselt lahendada väga mitmesuguseid elektriajami tööga seotud ülesandeid: kujundada koormuskõveraid, arvutada mootori mehaanilist koormust ühtlasel ja mitteühtlasel töötamisel, selgitada regulaatorite ja süsteemi hoomasside osatähtsust, valida hoorattaid, selgitada kiiruse olukorda, arvutada süsteemi ülesjooksu ja vaba väljajooksu (isepidurduse) kestust. Neid andmeid teadmata ei saa otstarbekalt valida mootorit, tema juhtimissüsteemi ega käivitus-, reguleerimis- ja kaitseaparatuuri.

§ 2. Takistus- ja inertsmomentide taandamine ühele võllile

Kui mootor käitab süsteemi, mille tööorganitel on erisugune kiirus, nõuavad ajami liikumisvõrrandid (60) ja (61) staatiliste takistusmomentide M_t ja -jõudude F_t taandamist mingile ühele võllile. Enamasti arvutatakse tööorganite tegelikud momendid ümber (taandatakse) mootori võllile.

Sellise ümberarvutuse aluseks on energia jäävuse seadus.

Olgu M_t masina tegelik staatiline takistusmoment; ω_t — töömasina võlli nurkkiirus; ω_m — mootori nurkkiirus; M_s — mootori võllile taandatud otsitav staatiline takistusmoment. Siis

$$M_s\omega_m = \frac{M_t\omega_t}{\eta} \tag{62}$$

ja

$$M_s = M_t\frac{\omega_t}{\omega_m\eta} = \frac{M_t}{i\eta}\ \text{Nm}, \tag{63}$$

kus i on ülekandearv, $i = \frac{\omega_m}{\omega_t}$,

η — ülekande kasutegur.

Tavaliselt käsitatakse ülekandearvu vedava ratta nurkkiiruse suhtena veetava ratta nurkkiirusesse (s. t. jõu ülekandmise suunas mootorilt vastava täiturmehhanismini) järgmiselt:

$$\frac{\omega_m}{\omega_1}, \frac{\omega_1}{\omega_2}, \frac{\omega_2}{\omega_3}, \ldots, \frac{\omega_{n-1}}{\omega_n}.$$

Kui süsteemis on tööorganeid, mis sooritavad kulgliikumist jõuga F_t ja kiirusega v_t, võib selle kulgliikumise jõu samuti taandada mootori võllile ja asendada vastava momendiga M_s järgmise seose põhjal:

$$\frac{F_t v_t}{\eta} = M_s \omega_m = M_s 2\pi n_m, \tag{64}$$

kus F_t on töömasina kulgliikumise jõud N;
v_t — kulgliikumise kiirus m/s;
M_s — töömasina kulgliikumisega osade arvutatav takistusmoment, taandatud mootori võllile Nm;
n_m — mootori pöörlemissagedus p/s;[1]
η — mootori ja töömasina vahelise ülekande või ülekandesüsteemi kasutegur.

Avaldisest (64) järeldub:

$$M_s = \frac{F_t v_t}{\omega_m \eta} \text{ Nm}. \tag{65}$$

Analoogiliselt taandatakse ka elektrimootorist ja töömasinast koosneva süsteemi inertsmoment. Sisaldagu süsteem pöörlevaid osi, mille inertsmomendid on $J_1, J_2, J_3, \ldots$ ja nurkkiirused $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \ldots$, ning kulgliikuvaid osi, mille massid on $m_1, m_2, m_3, \ldots$ ja kiirused $v_1, v_2, v_3, \ldots$ Nende kõigi dünaamilise mõju võib täielikult asendada ühe tingliku hoorattaga, mis on paigutatud näiteks mootori võllile ja mille inertsmomendiks on mootori võllile taandatud inertsmoment. Taandatud inertsmomendi arvutamisel lähtutakse asjaolust, et selles tinglikus hoorattas, mille inertsmoment on J, liikumisel salvestatud energia võrdub kogu elektriajami tegelike hoomasside ja kulgliikuvate osade energiaga:

$$J\frac{\omega_m^2}{2} = J_m\frac{\omega_m^2}{2} + J_1\frac{\omega_1^2}{2} + J_2\frac{\omega_2^2}{2} + \ldots + \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} + \ldots,^2 \tag{66}$$

kus ω_m on mootori nurkkiirus;
$\omega_1, \omega_2, \ldots$ — töömasina pöörlevate osade nurkkiirused;
$v_1, v_2, \ldots$ — kulgliikuvate osade joonkiirused.

Avaldisest (66) saame:

$$J = J_m + J_1\left(\frac{\omega_1}{\omega_m}\right)^2 + J_2\left(\frac{\omega_2}{\omega_m}\right)^2 + \ldots + \frac{m_1 v_1^2}{\omega_m^2} + \frac{m_2 v_2^2}{\omega_m^2} + \ldots \tag{67}$$

Arvutustes asendatakse inertsmoment J sageli hoomomendiga GD^2, mis leitakse järgmisest seosest:

---

[1] Vanemas kirjanduses tähistab n_m pöörlemiskiirust (p/min). Sel juhul peetagu silmas seost

$$\omega \text{ rad/s} = 2\pi n_m \text{ p/s} = \frac{\pi n_m}{30} \text{ p/min}.$$

[2] Siin esitatud valemite seostamisel vanemas MKfS süsteemist lähtuvas kirjanduses leiduvate valemitega peetagu silmas, et jõud $F = ma$ (kus a on kiirendus m/s²) ja kaal $G_2 = mg$ (kus g on raskuskiirendus, $g = 9{,}81$ m/s²). Seetõttu esineb seal ka inertsmomendi J asemel hoomoment $GD^2 = 4gJ$. Ka olgu märgitud, et jõukilogramm võrdub 9,81 njuutoniga (1 kgf = 1 kG = 9,81 N). *Tõlk.*

$$J = m\varrho^2 = \frac{G}{g}\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{GD^2}{4g};^1 \tag{68}$$

$$GD^2 = 4gJ, \tag{69}$$

kus m on mass kg;
ϱ — inertsraadius m;
g — raskuskiirendus, $g = 9{,}81$ m/s^2;
D — inertsläbimõõt m;
G — pöörlevate osade kaal N.

Seega tuleb taandatud hoomomendi GD^2 arvutamiseks ilmselt korrutada kogu võrrand (67) $4g$-ga. Siis

$$GD^2 = GD_m^2 + GD_1^2\left(\frac{\omega_1}{\omega_m}\right)^2 + GD_2^2\left(\frac{\omega_2}{\omega_m}\right)^2 + \ldots +$$

$$+ \frac{4Q_1v_1^2}{\omega_m^2} + \frac{4Q_2v_2^2}{\omega_m^2} + \ldots, \tag{70}$$

kus Q_1, Q_2, ... on kulgliikuvate osade kaal N.

Et $\omega_m = 2\pi n_m$, $\omega_1 = 2\pi n_1$ jne., siis nurkkiiruste asendamisel vastavate pöörlemissagedustega omandab valem (70) järgmise kuju:

$$GD^2 = GD_m^2 + GD_1^2\left(\frac{n_1}{n_m}\right)^2 + GD_2^2\left(\frac{n_2}{n_m}\right)^2 + \ldots +$$

$$+ \frac{0{,}101Q_1v_1^2}{n_m^2} + \frac{0{,}101Q_2v_2^2}{n_m^2} + \ldots ^2 \tag{71}$$

Kui valemis (71) asendada pöörlemiskiirused ülekandearvudega, saadakse:

$$GD^2 = GD_m^2 + \frac{GD_1^2}{i_1^2} + \frac{GD_2^2}{i_2^2} + \ldots +$$

$$+ \frac{0{,}101Q_1v_1^2}{n_m^2} + \frac{0{,}101Q_2v_2^2}{n_m^2} + \ldots \tag{72}$$

---

[1] Käsiraamatutes on hoomoment GD^2 tavaliselt MKfS süsteemi ühikutes — kgf · m^2 Inertsmomendi J ühikuks SI süsteemis on aga kg · m^2. Peetagu silmas, et tema arvulise väärtuse saamiseks (kg · m^2) tuleb käsiraamatutest leitav hoomomendi GD^2 väärtus (kgf · m^2) jagada neljaga, sest $y = m\varrho^2 = GD^2/4g$.

[2] Siin $1/\pi^2 \approx 0{,}101$. Kui aga n tähistab pöörlemiskiirust (p/min), siis $\omega_m = \pi n_m/30$, $\omega_1 = \pi n_1/30$ jne. ja valemi (71) viimased liikmed $\ldots + \frac{365Q_1v_1}{n_m^2} + \frac{365Q_2v_2^2}{n_m^2} + \ldots$, kus seosest $\frac{4Qv^2}{\omega} = \frac{4 \cdot 30Qv^2}{\pi^2 n^2}$ saame: $4 \cdot 30^2/\pi^2 \approx 365$. *Tõlk.*

§ 3. Käivitus- ja pidurduskestuse leidmine

Elektriajami siirdeolukorraks nimetatakse tööolukorda siirdumisel (üleminekul) ühest väljakujunenud ehk tasakaaluseisundist teise.

Siirdeolukorras töötab elektriajam käivitamisel, pidurdamisel ja pöörlemissuuna muutmisel, samuti koormuse järskudel kõikumistel. Siirdeolukord võib elektriajamil tekkida ka rikke või mingi muu häire tõttu elektervarustuses.

Et siirdeolukordadel on suur mõju ajami, juhtimisaparatuuri ja automaatikaseadmete tööle, mõnikord aga ka tehnoloogia kvaliteedile, arvestatakse tänapäeval elektriajamite projekteerimisel enamasti ka siirdeolukordade kulgemise iseloomu.

Elektriajamist ja töömasinast koosneva süsteemi käivitus- ja pidurduskestus on eriti oluline sagedasti käivitatavate ja seisatavate elektriajamite puhul. Need kestused mõjutavad antud masina tootlikkust.

Käivituskestus ja nõutav käivitusmoment iseloomustavad käivitustingimuste raskust, millel on mootori, trafo ja käivitusaparatuuri tüübi ja võimsuse valikul määrav tähtsus. See on seletatav asjaoluga, et ülesjooksu vältel läbib mootori mähiseid tugevam vool (lühisrootoriga asünkroonmootoritel 5-...7-kordne), mis põhjustab mootori üksikosade tugevat soojenemist ning häirib käivitus- ja kaitseaparatuuri normaalset tööd, kui nende valikul ei ole käivituskestust arvestatud. Näitena võib mainida mootori ja trafo võimsuse valikut elektriviljapeksul. Enne viljapeksumasina MC-1100 käivitustingimuste põhjalikku uurimist kasutati viljapeksul 14,5-...20,5-kW võimsusega faasmootoreid ja 50-...70-kVA trafosid. Viljapeksumasina koormusmomendi ja käivituskestuse täpse kindlakstegemisega selgus, et samaks otstarbeks võib kasutada lihtsamaid ja odavamaid lühisrootoriga asünkroonmootoreid võimsusega 13 kW ja väiksema võimsusega (20...30 kVA) trafosid.

Elektriajami liikumisvõrrandi (60) järgi kehtib ülesjooksu vältel seos

$$M_m - M_s = J\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}. \tag{73}$$

Lahendame diferentsiaalvõrrandi (73) aja t suhtes:

$$\mathrm{d}t = \frac{J\mathrm{d}\omega}{M_m - M_s} = \frac{J\mathrm{d}\omega}{M_d}. \tag{74}$$

Siin nimetatakse momenti M_d mõnikord ka kiirendusmomendiks.

Avaldame nurkkiiruse ω pöörlemissageduse n kaudu: $\omega = 2\pi n$. Nüüd võime kirjutada avaldise (74) järgmisel kujul:

$$\mathrm{d}t = \frac{J2\mathrm{d}\pi n}{M_d} = \frac{2\pi J\,\mathrm{d}n}{M_d}. \tag{75}$$

---

[1] Kirjanduses, kus on aluseks MKfS süsteem ja kus pöörlemist iseloomustatakse nurkkiiruse ω asemel pöörlemiskiirusega (p/min), asendatakse avaldises (74) $\omega = \pi n/30$ ja $J = GD^2/(4g)$ ning saadakse:

$$\mathrm{d}t = \frac{GD^2\,\mathrm{d}\frac{\pi n}{30}}{4gM_d} = \frac{GD^2\,\mathrm{d}n}{375M_d},$$

kus $\pi/(4:9{,}81\cdot 30) \approx 1/375$. Sama kordaja esineb ka mitmetes teistes ajami dünaamikat käsitlevates mittesüsteemsetes valemites. *Tõlk.*

Süsteemi käivituskestuse sõltuvalt pöörlemissagedusest võime arvutada järgmise avaldisega:

$$t_k = \int_0^{t_k} dt = \int_0^{t_x} \frac{2\pi J\, dn}{M_d} = 2\pi J \int_0^{n_x} \frac{dn}{M_d}. \qquad (76)$$

Tavaliselt võetakse integreerimise ülemiseks rajaks $n_x = n_n$, vahel ka $n_x = 0{,}95 n_0$.

Kui kiirendusmomenti on võimalik avaldada pöörlemissageduse n funktsioonina, saab arvutada käivituskestuse analüütiliselt, s. t. valemiga (76).

Erijuhul, kui $M_d = \text{const}$, siis

$$t_k = 2\pi J \int_0^{n_x} \frac{dn}{M_d} = \frac{2\pi J n_x}{M_d}. \qquad (77)$$

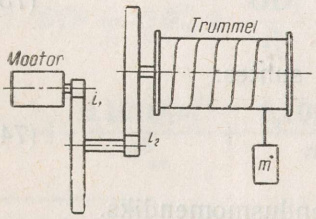
Kui on vaja leida aeg, mis kulub ülesjooksuks pöörlemissageduselt n_1 pöörlemissagedusele n_2 p/s, kirjutatakse valem (77) järgmisel kujul:

$$t_{1-2} = 2\pi J \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{M_d}; \qquad (78)$$

juhul kui $M_d = \text{const}$ ja $J = \text{const}$, saame:

$$t_{1-2} = \frac{2\pi J (n_2 - n_1)}{M_d} \text{ s}. \qquad (79)$$

Näide 1. Arvutada tõstevintsi taandatud inertsmoment ja elektrimootori käivituskestus (joon. 64).



Joon. 64. Tõstevintsi skeem

Andmed. faasasünkroonmootori võimsus $P_n = 11$ kW;
mootori pöörlemissagedus $n_n = 24{,}0$ p/s ($n_n = 1440$ p/min);
käivitusmomendi kordsus $M_k/M_n = 1{,}8$;
tõstetav mass $m = 2000$ kg;
tõstekiirus $v_t = 0{,}5$ m/s;
tõstetrumli läbimõõt $D_{tr} = 0{,}4$ m;
rootori inertsmoment $J_r = 0{,}25$ kg · m²;
trumli inertsmoment $J_{tr} = 0{,}25$ kg · m²;
hammasrataste inertsmomendid:

$J_1 = 0{,}025$ kg · m²,
$J_2 = 0{,}5$ kg · m²,
$J_3 = 0{,}125$ kg · m²,
$J_4 = 1{,}25$ kg · m²;

ülekandearvud: $i_1 = 6$, $i_2 = 10$;
ülekannete kasutegurid: $\eta_1 = \eta_2 = 0{,}96$.

1. Leiame süsteemi inertsmomendi taandatuna mootori võllile:

$$J = J_r + J_1 + \frac{J_2 + J_3}{i_1^2} + \frac{J_4 + J_{tr}}{i_1^2 i_2^2} + \frac{m v_t^2}{4\pi^2 n_n^2};$$

$$J = 0{,}25 + 0{,}025 + \frac{0{,}5 + 0{,}125}{6^2} + \frac{1{,}25 + 0{,}25}{6^2 \cdot 10^2} + \frac{2000 \cdot 0{,}5^2}{4\pi^2 24{,}0^2} = 0{,}315 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

2. Arvutame dünaamilise momendi:

$$M_d = M_m - M_s = M_k - M_s,$$

kus M_k on võime võtta jäävana kogu ülesjooksu vältel;
M_s — koorma ja süsteemis esinevate kadude põhjal arvutatav masina takistusmoment, taandatud mootori võllile.

$$\text{Et } M_n = \frac{P_n}{2\pi n_n} = \frac{11 \cdot 1000}{2\pi 24{,}0} = 72{,}4 \text{ Nm}$$

siis $M_k = 1{,}8 M_n = 1{,}8 \cdot 72{,}4 = 130{,}5$ Nm,

$$M_s = \frac{mgD_{tr}}{2 i_1 i_2 \eta_1 \eta_2} = \frac{2000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}4}{2 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}96} = 71{,}2 \text{ Nm}.$$

Seega $M_d = 130{,}5 - 71{,}2 = 59{,}3$ Nm.

3. Et dünaamiline moment on püsiv (käivitiga mootor), siis arvutatakse käivituskestus valemiga

$$t_k = \frac{2\pi J n_n}{M_d}.$$

Asetanud valemisse varem leitud väärtused, saame:

$$t_k = \frac{2\pi \cdot 0{,}315 \cdot 24{,}0}{59{,}3} = 0{,}8 \text{ s}.$$

Sellest näitest selgub, et hoolimata tõstetava koorma võrdlemisi suurest massist, määrab süsteemi taandatud inertsmomendi eelkõige rootori inertsmoment, sest mootori pöörlemissagedus on tunduvalt suurem süsteemi ülejäänud masside pöörlemissagedusest. Seepärast võetakse taolisel juhul ligikaudsel eelarvutusel

$$J = (1{,}1 \ldots 1{,}25) J_r.$$

Muidugi, kui süsteemis on suure kiirusega hoomasse, tuleb arvutada üksikasjalikumalt.

Näide 2. Arvutada viljapeksumasina MC-1100 käivituskestus.

Elektrimootori võimsus $P_n = 13$ kW; mootori nimipöörlemissagedus $n_n = 16{,}0$ p/s (960 p/min); viljapeksumasina trumli pöörlemissagedus $n_{tr} = 19{,}2$ p/s (1150 p/min); elektrimootori rootori inertsmoment $I_r = 0{,}5$ kg · m²; viljapeksumasina trumli ja teiste pöörlevate ning kulgliikuvate osade inertsmomendid (taandatud trumli võllile) $J_{vm} = 10$ kg · m²; mootori ja viljapeksumasina vahelise rihmülekande kasutegur $\eta = 0{,}96$.

Viljapeksumasina tühijooksukaost tingitud moment pole ülesjooksu kestel püsiv ja on ligikaudu arvutatav järgmise avaldisega:

$$M_{svm} = 11{,}8 + 0{,}168 n_{tr} \text{ Nm}.$$

Eeldame, et mootori käivitusmoment ülesjooksu vältel on püsiv ($M_k = 1{,}8 M_n$) ja rihma libisemine ei ületa tavalist 2 ... 3%.

Taandame kõik viljapeksumasina inertsmomendid ja tühijooksukaost tingitud momendi mootori võllile:

$$J = J_r + J_{vm} \left(\frac{n_{tr}}{n_n} \right)^2 = 0{,}5 + 10 \left(\frac{19{,}2}{16{,}0} \right)^2 \approx 15 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Viljapeksumasina tühijooksukaost tingitud moment (taandatud mootori pöörlemissagedusele)

$$M_s = M_{s\,vm}\frac{n_{tr}}{n_n\eta} = (11{,}8 + 0{,}168n_{tr})\frac{n_{tr}}{n_n\eta} =$$

$$= \left(11{,}8 + 0{,}168\frac{n_n}{i}\right)\frac{1}{i\eta} = \frac{11{,}8}{i\eta} + \frac{0{,}168}{i^2\eta}n_n,$$

kus $i = n_n/n_{tr}$.

Et antud juhul $i = 16{,}0 : 19{,}2 = 0{,}83$, siis

$M_s = 14{,}8 + 0{,}254n_n$ Nm.

Et dünaamiline moment

$M_d = M_k - M_s$

muutub ülesjooksu vältel mootori pöörlemissagedusest sõltuvalt, tuleb arvutada käivituskestus valemiga (76). Enne aga arvutame käivitusmomendi $M_k = 1{,}8M_n$:

$$M_n = \frac{P_n}{2\pi n} = \frac{13 \cdot 1000}{2\pi \cdot 16} = 129 \text{ Nm},$$

kust

$M_k = 1{,}8M_n = 1{,}8 \cdot 129 = 232$ Nm.

Nüüd arvutame käivituskestuse järgmiselt·

$$t_k = 2\pi J\int_0^n \frac{dn}{M_d} = 2\pi J\int_0^n \frac{dn}{232 - 14{,}8 - 0{,}254n} = 2\pi J\int_0^n \frac{dn}{217{,}2 - 0{,}254n}. \qquad (a)$$

Leiame avaldises (*a*) oleva integraali

$$\int_0^n \frac{dn}{217{,}2 - 0{,}254n},$$

mis arvutatakse järgmise kujuga integraalina:

$$\int_0^n \frac{dn}{\alpha - \beta n}.$$

See avaldub järgmiselt:

$$\int_0^n \frac{dn}{\alpha - \beta n} = -\frac{1}{\beta}\left[\ln(\alpha - \beta n)\right]_0^n.$$

Integreerimisrajade vahetumisel

$$\int_0^n \frac{dn}{\alpha - \beta n} = \frac{1}{\beta}\left[\ln(\alpha - \beta n)\right]_n^0 = \frac{1}{\beta}\ln\frac{\alpha}{\alpha - \beta n}.$$

Asetanud α, β ja n asemele nende väärtused, saame:

$$\frac{1}{\beta}\ln\frac{\alpha}{\alpha - \beta n_n} = \frac{1}{0{,}254}\ln\frac{217{,}2}{217{,}2 - 0{,}154 \cdot 16{,}0} = 3{,}94 \ln 1{,}019 =$$

$$= 3{,}94 \cdot 0{,}0196 = 0{,}077.$$

Asetanud integraali väärtuse avaldisse (*a*), leiamegi elektrimootorist ja viljapeksumasinast MC-1100 koosneva süsteemi käivituskestuse:

$t_k = 2\pi \cdot 15 \cdot 0{,}077 = 7{,}3$ s.

Viljapeksumasina leitud käivituskestus vastab täielikult katseandmetele. Tegelikes tingimustes ületab rihma libisemine tavalise piiri (2 ... ... 3%) tunduvalt ja siis on mootori käivituskestus märgatavalt lühem, kui oli näites arvutatud, kuigi viljapeksumasina trumli ülesjooks võib rihma pingusest sõltuvalt kesta 20 ... 60 s.

Mootori soojenemise seisukohalt on selline nähtus väga soodne. Sellega ongi seletatav, miks viljapeksul kasutatava mootori ja trafo võimsust õnnestus esimeste elektriviljapeksu katsetustega võrreldes tänapäeval märgatavalt vähendada.

Pidurdamisel on mootori momendi märk vastupidine. Kui arvestada avaldist (75), omandab ajami liikumisvõrrand (60) järgmise kuju:

$$-M_m - M_s = \frac{2\pi J\, \mathrm{d}n}{\mathrm{d}t}. \tag{80}$$

Siit saame pidurduskestuse:

$$t_p = 2\pi J \int_{n_1}^{n_2} \frac{\mathrm{d}n}{-M_m - M_s} = 2\pi J \int_{n_2}^{n_1} \frac{\mathrm{d}n}{M_m + M_s}. \tag{81}$$

Erijuhul, mil $M_m = \text{const}$, $M_s = \text{const}$ ja $J = \text{const}$, on avaldise (81) lahendus järgmine:

$$t_p = \frac{2\pi J (n_2 - n_1)}{M_m + M_s}. \tag{82}$$

Kui M_m ja M_s on liiga keerukas sõltuvuses pöörlemissagedusest või ei ole analüütiliselt avaldatavad, leitakse käivitus- ja pidurduskestus mitmesuguste elektriajami liikumisvõrrandi integreerimise graafiliste või graafilis-analüütiliste meetodite järgi.[1]

§ 4. Soodsaima ülekandearvu leidmine lühima käivitus- ja pidurduskestuse põhjal

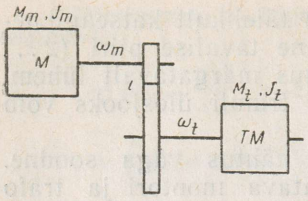
Suure käivitamis-, seiskamis- või reverseerimissagedusega töötavate elektriajamite suhtes on oluline säästa agregaadi ülesjooksule ja pidurdamisele kuluvat aega. Sellised ajamid on näiteks automaatikalülituste järgivsüsteemide, valtsimispinkide abimehhanismide, pikihöövelpinkide, ekskavaatorite ja haaratslaadurite ajamid.

Oluliselt mõjustab käivitus- ja pidurduskestuse lühenemist ja järelikult ka tootlikkuse suurenemist mootori nurkkiiruse ω_m ja töömasina nurkkiiruse ω_t vahelise ülekandearvu õige valik. Tegelikult taandub see niisuguse ülekandearvu valikule, mille puhul agregaadi käivitamisel, seiskamisel ja reverseerimisel tekib ülesjooksul maksimaalne kiirendus või pidurdamisel maksimaalne aeglustus.

Soodsaima ülekandearvu leidmiseks valemite tuletamisel kujuneb ajami liikumisvõrrand, kui agregaadis mõjuvad momendid taandatakse töömasina võllile (joon. 65), järgmiseks:

---

[1] В. П. Андреев и Ю. А. Сабинин. Основы электропривода. ГЭИ, 1963, lk. 257 ... 262.



Joon. 65. Ülekandega elektriajami kinemaatikaskeem:
M — mootor, *TM* — töömasin

$$M_m i = \frac{M_s}{\eta} + (J_t + J_m i^2)\frac{d\omega_t}{dt}, \tag{83}$$

kus M_m on käitusmoment mootori võllil;
M_s — takistusmoment töömasina võllil;
J_t ja J_m — töömasina ja elektrimootori rootori inertsmomendid;
ω_t — töömasina võlli nurkkiirus;
$i = \frac{\omega_m}{\omega_t}$ — ülekandearv;
η — mootori ja töömasina vahelise ülekande kasutegur.

Valemist (83) saadakse töömasina võlli nurkkiirendus:

$$\frac{d\omega_t}{dt} = \varepsilon = \frac{M_m i - \frac{M_s}{\eta}}{J_t + J_m i^2}. \tag{84}$$

Valemi (84) järgi võime arvutada nurkkiirenduse ε, kui on teada M_m, M_s, J_m, J_t ja i. Soodsaima ülekandearvu leidmiseks tuleb asetada valemisse (84) M_m, J_m ja η väärtused ülekandearvu funktsioonina. On ju ülekandearvu muutumine alati tingitud ainult mootori niminurkkiiruse muutumisest ($P_m \approx$ const), sest nõutud M_s, J_t ja ω_t on jääva väärtusega (masin ja tehnoloogia on eelnevalt kindlaks määratud).

Sel juhul

$$M_m = f_1(i) = M_{mi}, \tag{85}$$
$$J_m = f_2(i) = J_{mi}, \tag{86}$$
$$\eta = f_3(i) = \eta_i. \tag{87}$$

Konkreetsel kujul võib sõltuvused (85), (86) ja (87) esitada järgmistena:

$$M_{mi} = M_{lm}\frac{i_{lm}}{i}, \tag{88}$$

kus M_{lm} on moment nn. lähtemootori võllil; lähtemootori all mõistame sellist elektrimootorit, mille niminurkkiirus on valitud vabalt ja võetud järgnevatel võrdlustel aluseks eeldusel, et on tagatud nõutav võimsus ($M_{lm}\omega_{lm} = P_{lm} = P_m =$ const);

$i_{lm} = \frac{\omega_{lm}}{\omega_t}$ — ülekandearv, mis vastab momendile M_{lm}.

$$J_{mi} = J_{lm}\left(\frac{i_{lm}}{i}\right)^k, \tag{89}$$

kus J_{lm} on lähtemootori rootori inertsmoment, kui mootori niminurkkiirus on ω_{lm};
k — astmenäitaja, mis leitakse kataloogides ühte ja sedasama tüüpi, ühesuguse võimsusega, erisuguse niminurkkiirusega ω_n mootorite rootori inertsmomendi J (hoomomendi GD^2) kohta esitatud andmete järgi.

Ülekande kasutegur (peamiselt reduktori kasutegur) võib ülekandearvust sõltuvalt suures ulatuses muutuda vastavalt ülekande astmete ise-

loomule ja arvule. Kuid igal juhul on sõltuvus $\eta = f_3(i)$ langev kõver, mis tõendab, et kasutegur on seda väiksem, mida suurem on ülekande suurimale astmete arvule vastav ülekandearv.

Ligikaudsed kasuteguri η sõltuvused ülekandearvust i on kujutatud joonisel 66. Need sõltuvused on kujundatud järgmiste valemitega:

$$\eta_i = \frac{(a+2)i}{i^2 + ai + 1} \tag{90}$$

ja

$$\eta_i = \frac{a+1}{a+i}, \tag{91}$$

kus a on abisuurus, mille väärtuse võime igal konkreetsel juhul leida reduktori tehniliste andmete põhjal, arvestades seoseid (90) ja (91). Abisuuruse a väärtused valime mõlema valemi järgi nii et valemid väljendaksid teatud ülekande kasuteguri muutumise seaduspärasusi kõige paremini.

Arvestades sõltuvusi (88), (89) ja (90), kirjutame algvõrrandi (84) järgmisel kujul:

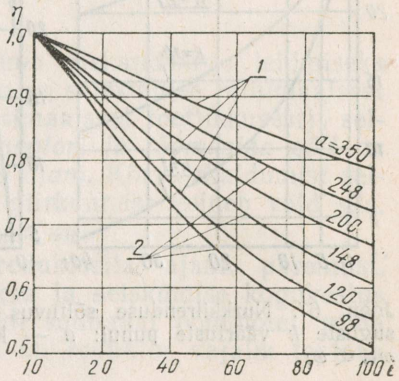
$$\varepsilon = \frac{M_{lm} i_{lm} - \dfrac{M_s(i^2 + ai + 1)}{(a+2)i}}{J_{lm}\left(\dfrac{i_{lm}}{i}\right)^k i^2 + J_m}. \tag{92}$$

Teisendanud ja võtnud $i_{lm} = 1$, mis on täiesti võimalik, sest i_{lm} valitakse üldjuhul vabalt, saame:

$$\varepsilon = \frac{(a+2)M_{lm} i - M_s(i^2 + ai + 1)}{(a+2)(J_{lm} i^{2-k} + J_m)i}. \tag{93}$$

Võtame veel aluseks järgmised suhted:

$$\frac{J_m}{J_{lm}} = m; \qquad \frac{M_s}{M_{lm}} = \mu_{lm}. \tag{94}$$



Joon. 66. Ülekande kasuteguri sõltuvus ülekandearvust:

1 — kui $\eta_i = \frac{a+1}{a+i}$;

2 — kui $\eta_i = \frac{(a+2)i}{i^2 + ai + 1}$

Siis

$$\varepsilon = \frac{M_{lm}[(a+2)i - \mu_{lm}(i^2 + ai + 1)]}{J_{lm}(a+2)(i^{2-k} + m)i}. \tag{95}$$

Valemiga (95) võime arvutada töömasina võlli nurkkiirenduse ε sõltuvalt ülekandearvust i, kuid arvestades juba M_m, J_m ja η muutuvaid väärtusi.

Leiame funktsiooni (95) esimese tuletise ja võrrutame selle nulliga. Siis

$$(1-k)\mu_{lm}i^{4-k} + [(k-2)(a+2) + (2-k)\mu_{lm}]i^{3-k} + \\ + (3-k)\mu_{lm}i^{2-k} - m\mu_{lm}i^2 + m\mu_{lm} = 0. \tag{96}$$

Valem (96) võimaldab tuletada astmenäitajates sisalduva k täisarvuliste väärtuste kohta valemid i_0 arvutamiseks. Allpool on need valemid esitatud mõnede k väärtuste kohta. Kui $k = 1$, siis

$$i_0 = \frac{\mu_{lm} - \sqrt{\mu_{lm}^2(1 - ma + m^2) + (a+2)m\mu_{lm}}}{\mu_{lm}(a-m) - a - 2}; \tag{97}$$

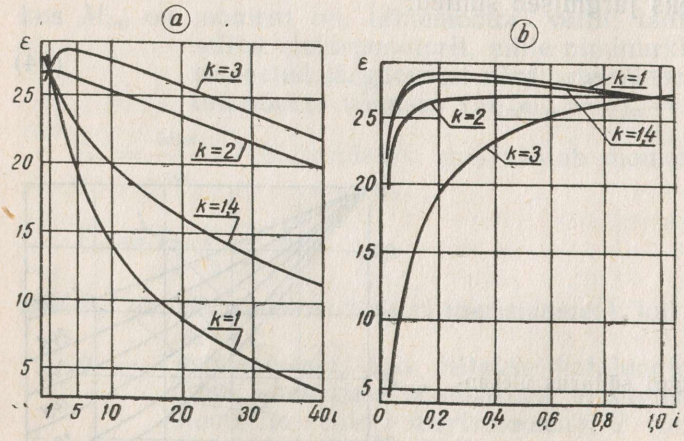
kui $k = 2$, siis

$$i_0 = 1; \tag{98}$$

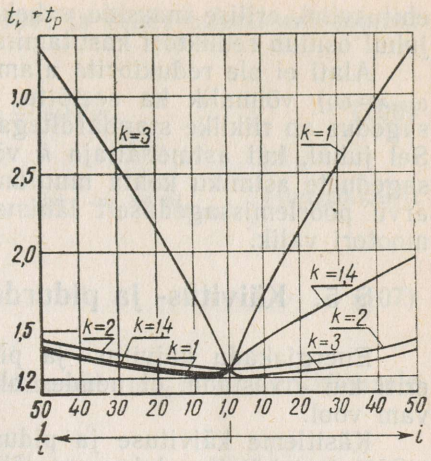
kui $k = 3$, siis

$$i_0 = \frac{-1 + \sqrt{1 + m\left(\frac{a+2}{\mu_{lm}} - a + m\right)}}{m}. \tag{99}$$

Vastavalt avaldisele (95) on joonisel 67 kujutatud nurkkiirenduse ε sõltuvus ülekandearvust i. Joonisel 67, *a* kujutatud kõveratest selgub (vähemalt reaalsete ajamite kohta, millel $k \leqslant 2$), et töömasina võlli nurkkiirendus ε on seda väiksem, mida enam ülekandearv i ühest erineb. Nii on olukord agregaatides, millel $\omega_m > \omega_t$.



Joon. 67. Nurkkiirenduse sõltuvus ülekandearvust mitmesuguste k väärtuste puhul: *a* — kui $\omega_m > \omega_t$; *b* — kui $\omega_m < \omega_t$



Joon 68. Ülesjooksu ja seiskumise kogukestuse $t_k + t_p$ sõltuvus ülekandearvust mitmesuguste k väärtuste puhul kui $\omega_m \lesseqgtr \omega_t$

Veidi teisiti on olukord agregaatides, millel $k < 2$ puhul $\omega_m < \omega_t$, tõsi küll, ainult seni, kuni ülekandearv $i > 0{,}2 \ldots 0{,}3$. Tegelike ülekandearvude väiksemate väärtuste korral väheneb kiirendus ka nendel agregaatidel (joon. 67, *b*).

Käsitletud sõltuvused kehtisid ainult ülesjooksu kohta. Tegelikkuses aga tahetakse vähendada miinimumini nii ülesjooksu kui ka seiskumise kogukestust.

Käivituskestuse t_k ja pidurduskestuse t_p arvestamisel kujunevad $\varepsilon = f(i)$ sõltuvused sarnasteks valemitega (95) ja (96). Kui ajami liikumisvõrrandisse asetada sõltuvusega (91) väljendatud η_i väärtus, saadakse soodsaima ülekandearvu leidmiseks minimaalse ülesjooksu ja seiskumise kogukestuse järgi järgmine valem:

$$(k-2)\left[(1-\mu_{lm})a+1\right]i^{3-k} + (3-k)\mu_{lm}i^{2-k} + \mu_{lm}m = 0. \qquad (100)$$

Joonisel 68 on kujutatud kõverad $t_k + t_p = f(i)$ konkreetse juhu kohta, mil $\omega_t = 31{,}4$ rad/s ($n_t = 300$ p/min),

$$\frac{J_{lm}}{M_{lm}} \approx \frac{1}{600}, \quad \mu_{lm} = 0{,}5, \quad m = 10.$$

Kõveratest (joon. 68) ja avaldisest (100) järeldub, et $\omega_m < \omega_t$ puhul, kui $k < 2$, erinevad soodsaimad ülekandearvud ühest. Töömasina võlli maksimaalne nurkkiirendus k väärtustel 2, 1, 0 saadakse vastavalt ülekandearvude $i = i_0 = 1$; $\frac{1}{6}$; $\frac{1}{9}$ puhul.

Niisiis, analüüsinud agregaadi soodsaima ülekandearvu leidmiseks tuletatud sõltuvusi, mis lähtuvad ülesjooksu ja seiskumise minimaalsest kogukestusest (järelikult ka agregaadi maksimaalsest tootlikkusest), selgub, et *kõige kasulikum on ajam, millel mootori ja töömasina võll on sidurdatud vahetult* ($i_0 = 1$), *s. t. reduktorita ajam.* Kõrvalekaldumist sellest järeldusest (väikeste ülekandearvude i piirkonnas) esineb vaid siis, kui $k > 2$ puhul $\omega_m > \omega_t$ ja $k < 2$ puhul $\omega_m < \omega_t$.

Seda seaduspärasust, mis tõendab reduktorita ajami paremust, lähtudes tingimusest, et agregaadi ülesjooksu ja seiskumise kogukestus oleks minimaalne, tuleb arvestada ainult kui suunavat põhimõtet, mida tegelikkuses alati rakendada ei saa. Sageli on reduktor vajalik teatava

ehitusviisi, erilise masside vahekorra tõttu või mõnel muul põhjusel. Sel juhul osutub reduktori kasutamine mõõdapääsmatuks.

Alati ei ole reduktorita ajami valimine (lähtudes põhiandmetest, kui $\omega_m = \omega_t$) võimalik ka seetõttu, et elektrimootorite väikseim pöörlemissagedus on riiklike standarditega (ГОСТ-i nõuetega) kindlaks määratud. Sel juhul, kui astmenäitaja k võrrandis (89) jääb kogu nimipöörlemissageduste astmiku kohta muutumatuks, määrab otstarbekaima ülekandearvu pöörlemissageduselt lähima, s. t. sarja kõige aeglasekäigulisema mootori valik.

§ 5. Käivitus- ja pidurdusolukorra energeetika

Energiakadu käivitus- ja pidurdusolukorras võib olla küllalt suur, eriti kui arvestada, et nendes olukordades läbib mootori mähiseid tugevam vool.

Käsitleme käivituse ja pidurduse energeetikat alalisvoolu-rööpergutusmootori käivitusolukorrast lähtudes.

Võrgust mootorile antav võimsus jaguneb kolme ossa:

1) $P_s = M_s 2\pi n$ — töömasina staatilise takistusmomendi ületamiseks kuluv võimsus;

2) $P_d = M_d 2\pi n = 2\pi J n \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}$ — võimsus, mis kulub agregaadi pöörlevatele massidele kineetilise energia andmiseks;

3) $\Delta P_2 = I^2 R$ — elektrimootori ankruringis tekkivast soojuskaost tingitud võimsus (arvestamata ergutuseks tarbitavat energiat).

Kõigist osavõimsustest pakub erilist huvi ΔP_2, sest see mitte ainult mõjustab tootmise ökonoomsust, moodustades teatava osa toodangu omahinnas, vaid määrab ka mootori soojenemise, tema poolt arendatava võimsuse ja vajalike lisatakistuste väärtuse.

Rööpergutusmootori ankruringis käivitamisel tekkiv energiakadu ΔA_k on väljendatav järgmiselt:

$$\Delta A_k = \int_0^{t_k} (\Delta P_2)\,\mathrm{d}t = \int_0^{t_k} I^2 R\,\mathrm{d}t. \tag{101}$$

Põhimõtteliselt võime avaldise (101) põhjal ΔA_k väärtuse leida, kuid analüüsimiseks on otstarbekam avaldada see suurus elektriajami mehaaniliste lähteandmete kaudu.

Alalisvoolumootoritel

$$U = E + IR, \tag{102}$$

kus R on ankruringi takistus, mis koosneb ankrumähise takistusest ja juurdelülitatavast lisatakistusest.

Seega on ajami poolt nõutav võimsus käivitusvoolu I puhul järgmine:

$$P_k = UI = EI + I^2 R, \tag{103}$$

kus EI on elektromagnetiline võimsus, mis kulub mehaaniliste takistuste ületamiseks.

Siit

$$I^2 R = UI - EI = M\omega_0 - M\omega. \tag{104}$$

Järgmiste arvutuste lihtsustamiseks eeldame, et mootor käivitub tühijooksul, s. t. $M_s = 0$. Siis mootori poolt arendatav moment

$$M = J\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} \quad \text{ja} \quad \mathrm{d}t = J\frac{\mathrm{d}\omega}{M}. \tag{105}$$

Asetanud valemisse (101) valemite (104) ja (105) tulemused, saame:

$$\Delta A_k = \int_0^{t_k} M(\omega_0 - \omega) J \frac{d\omega}{M} = J \int_{\omega_1}^{\omega_2} (\omega_0 - \omega)\, d\omega. \tag{106}$$

Ülesjooksul üldjuhul, kui $\omega_1 = \omega_{alg}$ ja $\omega_2 = \omega_{lõpp}$, energiakadu

$$\Delta A_k = J \int_{\omega_{alg}}^{\omega_{lõpp}} (\omega_0 - \omega)\, d\omega, \tag{107}$$

ja erijuhul, kui ülesjooks toimub nurkkiiruselt $\omega_{alg} = 0$ nurkkiirusele $\omega_{lõpp} = \omega_0$,

$$\Delta A_k = J \frac{\omega_0}{2} \text{ J}. \tag{108}$$

Avaldisest (108) ilmneb, et *energiakadu ankruringis tühijooksul käivitamise korral* on lihtsasti väljendatav agregaadi mehaaniliste iseloomustussuuruste kaudu ja *võrdub süsteemi kineetilise energiaga, mille määravad agregaadi hoomassid ja lõplik nurkkiirus.* Seejuures ei sõltu see kadu mootori mehaanilise tunnusjoone kujust, ankruringi takistusest ega käivituskestusest.

Agregaadi koormusel käivitamise korral, mil $M_s \neq 0$, on energiakadu ankruringis suurem kui tühijooksul käivitamise korral.

On hõlpus tõestada, et see kadu väljendub järgmise avaldisega:

$$\Delta A_k \approx J \frac{\omega_n^2}{2} + M_s \omega_n \frac{t_k}{2}, \tag{109}$$

kus ω_n on elektrimootori niminurkkiirus, mis arvutuses võetakse ülesjooksu lõppkiiruseks;
M_s — agregaadi takistusmoment käivitamisel, mis arvestuses on jääv;
t_k — agregaadi käivituskestus.

Nagu näha, sõltub antud juhul käivitamisel tekkiv energiakadu mitte ainult suurustest J ja $\omega_{lõpp}$, vaid ka momendist M_s ja käivituskestusest.

Pidurdusolukorras tekkivat kadu käsitleme asünkroonmootoriga ajami käivituse ja pidurduse energeetika analüüsi põhjal.

Asünkroonmootori pöördvälja võimsus

$$P_1 = M\omega_0, \tag{110}$$

kus M on pöördvälja moment;
ω_0 — pöördvälja sünkroonnurkkiirus.

Võimsuskadu rootoris

$$\Delta P_2 = P_1 s, \tag{111}$$

kus s on asünkroonmootori libistus, mis ülesjooksu vältel muutub.

Mootori rootoris käivitusel tekkiv energiakadu on üldjuhul järgmine:

$$\Delta A_k = \int_{t_1}^{t_2} P_1 s\, dt = \int_{t_1}^{t_2} M\omega_0 s\, dt. \tag{112}$$

Eeldusel, et mootor käivitub tühijooksul, võime avaldise (112) esitada rööpergutusmootori käivituse analoogia põhjal järgmisel kujul:

$$\Delta A_k = \int_{t_1}^{t_2} J \frac{d\omega}{dt} \omega_0 \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} dt = J \int_{\omega_1}^{\omega_2} (\omega_0 - \omega) d\omega =$$

$$= J \left[\omega_0 (\omega_2 - \omega_1) - \frac{1}{2} (\omega_2^2 - \omega_1^2) \right]. \quad (113)$$

Käivitusolukorras $\omega_1 = 0$ ja $\omega_2 = \omega_{lõpp}$, kusjuures tühijooksul käivitamise korral võib võtta $\omega_2 = \omega_{lõpp} \approx \omega_0$.

Siis

$$\Delta A_k = J \left(\omega_0 \omega_{lõpp} - \frac{\omega^2_{lõpp}}{2} \right) \approx J \frac{\omega_0^2}{2} \text{ J}. \quad (114)$$

Nagu selgub, on tulemus sama mis rööpergutusmootori käivitamisel (108).

Dünaamilisel pidurdusel $\omega_1 = \omega_{alg} \approx \omega_0$ ja $\omega_2 = \omega_{lõpp} = 0$.

Asünkroonmootori rootoris dünaamilisel pidurdusel eralduva energia ΔA_{dp} arvutame valemiga (113), arvestades, et elektriajami liikumisvõrrandist pidurdusolukordade kohta tuletatud avaldistes on mootori moment miinusmärgiga.

Asetanud avaldisse (113) vastavad ω_1 ja ω_2 väärtused, saame:

$$\Delta A_{dp} = -J \left(-\omega_0^2 + \frac{\omega_0^2}{2} \right) = J \frac{\omega_0^2}{2} \text{ J}. \quad (115)$$

Dünaamilise pidurduse jooksul kuni täieliku peatumiseni rootoris eralduv energia on võrdne pidurduse alguseni agregaadis salvestunud kineetilise energiaga, s. t. energiakadu dünaamilisel pidurdusel on võrdne käivitamisel tekkiva kaoga.

Vastulülituspidurdust võib käsitada päripöörlemiselt vastupöörlemisele siirdumisel esineva osalise siirdeolukorrana või teatava ülesjooksuna nurkkiiruselt $\omega_1 = -\omega_0$ nurkkiirusele $\omega_2 = 0$.

Sellest lähtudes võime avaldise (113) põhjal kirjutada:

$$\Delta A_{rp} = J \left(\omega_0^2 + \frac{\omega_0^2}{2} \right) = \frac{3}{2} J \omega_0^2 \text{ J}. \quad (116)$$

Avaldiste (116) ja (115) võrdlemisel selgub, et vastulülituspidurdusel on energiakadu rootoris kolm korda suurem kui dünaamilisel pidurdusel.

Esitatud avaldised väljendasid ainult rootoris tekkivat kadu. Käivitus- ja pidurdusolukorra energeetika täpsemaks hindamiseks on vaja arvestada ka kadu staatorimähistes. Selleks piisab, kui leida avaldis staatori- ja rootorimähistes käivitamisel tekkiva kogukao kohta.

Olgu

ΔA_{k1} — kadu staatoris;
ΔA_{k2} — kadu rootoris;
$\Sigma \Delta A_k = \Delta A_{k1} + \Delta A_{k2}$ — kogukadu.

$$\left.\begin{aligned} \Delta A_{k1} &= I^2 r_1 t_k \text{ J} \\ \Delta A_{k2} &= I^2 r'_2 t_k \text{ J} \end{aligned}\right\} \tag{117}$$

kus r_1 on staatori faasimähise tegevtakistus;
r'_2 — rootori faasimähise tegevtakistus, taandatud staatorile.
Siis

$$\Sigma \Delta A_k = I^2 r_1 t_k + I^2 r'_2 t_k = I^2 r'_2 t_k \left(1 + \frac{r_1}{r'_2}\right). \tag{118}$$

Arvestades, et

$$I^2 r'_2 t_k = \Delta A_{k2} = J \frac{\omega_0^2}{2}, \tag{119}$$

saame:

$$\Sigma \Delta A_k = J \frac{\omega_0}{2} \left(1 + \frac{r_1}{r'_2}\right). \tag{120}$$

Siit nähtub, et mootoris tekkiv kogukadu käivitusel sõltub esmajoones agregaadi hoomassidest. Kuid staatorimähise teatud takistuse r_1 puhul on see kadu seda väiksem, mida suurem on rootorimähise takistus r_2. Seejuures, nagu eespool märgitud, rootoritakistus rootoriringis käivitusel tekkivat kadu ei mõjusta. Sellepärast on suure käivitussagedusega ajamile sageli otstarbekas valida suurema rootoritakistusega lühisasünkroonmootor, s. t. suurema libistusega mootor.

Niisiis tõendab käivitus- ja pidurdusolukorras tekkiva kao analüüs, et see kadu sõltub peamiselt elektriajami ja temaga käitatava töömasina hoomassidest. Kao vähendamiseks püütakse vähendada agregaadi taandatud inertsmomente. Selleks valitakse pikema rootoriga mootor, asendatakse üks mootor kahe mootoriga, millest kummagi võimsus on pool vajalikust koguvõimsusest, muudetakse astmeliselt mootori klemmipinget käivitamisel jms.

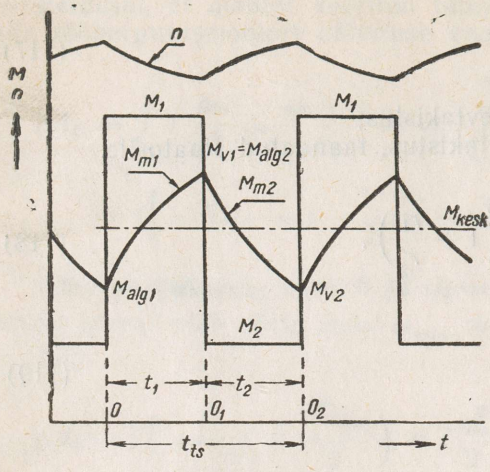
§ 6. Lineaarse mehaanilise tunnusjoonega elektriajami töö, kui töömasina tõukekoormust kujutab perioodiline kahelõiguline koormuskõver

Olgu antud töömasina koormuskõver $M_t = f(t)$ (joon. 69). See koormuskõver on perioodiline. Lõigus t_1 takistusmoment $M_1 = \text{const}$ lõigus t_2 aga $M_2 = \text{const}$. Tsükli kestus $t_{ts} = t_1 + t_2$.

On vaja leida mootori momendi muutumise seaduspärasus töömasina sellise koormuskõvera puhul või kujundada pidevalt siirdeolukorras töötava mootori koormuskõver $M_m = f_1(t)$. Leitav seaduspärasus võimaldab lahendada mitmesuguseid antud masinale otstarbeka elektriajami projekteerimisega seoses olevaid ülesandeid.

Analüüs toimub eeldusel, et mootori põhilised tehnilised andmed M_n, s_n, M_v, s_v ja agregaadi taandatud inertsmoment on teada. Peale selle eeldatakse, et mootori moment on võrdeline libistusega ja väljendub võrrandiga

$$M_m = \frac{M_n}{s_n} s_m. \tag{121}$$



Joon. 69. Töömasina ja elektrimootori koormusköverad tõukekoormusel

See avaldis vastab tegelikule olukorrale alalisvoolu-rööpergutusmootoriga ajamites ja väljendab küllalt täpselt tegelikku olukorda asünkroonmootoritega ajamites, kui need töötavad suurte ülekoormusteta. Kui aga asünkroonmootor töötab suurte pöörlemissageduse kõikumistega nimipöörlemissageduse suhtes, täpsustatakse avaldist (121) vastavate teguritega.

Leiame mootori momendi muutumise seaduspärasuse lõikude kaupa (joon. 69), rakendades elektriajami liikumisvõrrandit (60) mootori tööolukorra kohta.

Esimene lõik $(0 \ldots 0_1)$:

$$M_{m1} - M_1 = 2\pi J \frac{dn}{dt}. \tag{122}$$

Et $n = n_0(1 - s)$ siis, arvestades avaldist (121) ja teades, et

$$M_1 = \frac{M_n}{s_n} s_{M1}, \tag{123}$$

võime kirjutada:

$$\frac{M_n}{s_n} s_{m1} - \frac{M_n}{s_n} s_{M1} = -2\pi J n_0 \frac{dn}{dt} \tag{124}$$

või

$$s_{m1} - s_{M1} = -\frac{2\pi J n_0 s_n}{M_n} \frac{ds}{dt} = -T_{em} \frac{ds}{dt}, \tag{125}$$

kus T_{em} on konstant:

$$T_{em} = \frac{2\pi J n_0 s_n}{M_n}. \tag{126}$$

Suurus T_{em} on mõõdetav ajaühikutes (s) *ja seda nimetatakse elektriajami elektromehaaniliseks ajakonstandiks.*

Toonud võrrandisse (125) muutuvad suurused ühele poole võrdusmärki, saame:

$$\frac{ds}{s_{m1} - s_{M1}} = -\frac{1}{T_{em}}\,dt. \tag{127}$$

Pärast võrrandi (127) integreerimist saame:

$$\ln(s_{m1} - s_{M1}) - \ln C = -\frac{t}{T_{em}}, \tag{128}$$

kus $\ln C$ on integreerimiskonstant, mis määratakse algtingimustest. Eeldades, et koormuse M_1 alghetkel $t = 0$ on libistus $s_{m1} = s_{alg1}$, saame:

$$C = s_{alg1} - s_{M1}.$$

Paigutanud C väärtuse avaldisse (128), saame lõplikult:

$$s_{m1} = s_{M1}\left(1 - e^{-\frac{t}{T_{em}}}\right) + s_{alg1}\, e^{-\frac{t}{T_{em}}}, \tag{129}$$

kus s_{M1} on lineaarse mehaanilise tunnusjoonega elektrimootori libistus töömasina takistusmomendi M_1 puhul;

s_{alg1} — elektrimootori libistus siirdeolukorra algul lõigus $0 \ldots 0_1$ hetkel $t = 0$.

Valemi (126) järgi on elektriajami elektromehaanilisel ajakonstandil T_{em} kahesugune füüsikaline sisu: esiteks, aeg (s), mis võrdub antud agregaadi ülesjooksu kestusega (77), kui $M_d = M_n = \text{const}$ ja pöörlemissagedus muutub väärtuselt $n = 0$ väärtusele $n = n_0 s_n$ p/s; teiseks, aeg, mille jooksul agregaadi hoomassid tagavad töötamise nimivõimsusel P_n, kui elektriajami pöörlemissagedus väheneb väärtuselt n_0 väärtusele n_n.

Viimane tõlgendus tuleneb järgmisest avaldisest:

$$T_{em} = \frac{2\pi J n_0 s_n}{M_n} \cdot \frac{n_n}{n_n} \approx 2\pi J \frac{n_0^2 - n_n^2}{2P_n}, \tag{130}$$

kust

$$2\pi J \frac{n_0^2 - n_n^2}{} \approx T_{em} P_n. \tag{131}$$

Avaldisest (126) selgub, et elektriajami elektromehaaniline ajakonstant, mis on vahetult määratud suurustega J, n_0, M_n ja s_n, võib sõltuda mingitest teistest suurustest ainult siis, kui need nimetatud suurusi mõjustavad.

Näitena võib siin mainida ajakonstandi T_{em} väärtuse sõltuvust ankruringi või rootori takistusest. Selline sõltuvus on täiesti loomulik, sest on teada, et mootori libistus üldse, järelikult ka nimilibistus s_n nimimomendi puhul on seda suurem, mida suurem on ankruringi või rootori takistus.

Käsitleme seda alalisvoolu-rööpergutusmootori seisukohalt, lähtudes avaldistest (21) ja (23), mille järgi $M_n = k_1 I_n$ ja $E_n = C\Phi n_n = k_2 n_n$.

Sel juhul võime kirjutada:

$$T_{em} = \frac{2\pi J n_0 s_n}{M_n} = \frac{2\pi J (n_0 - n_n)}{k_1 I_n} \quad (132)$$

Et $I_n = \frac{U - E_n}{R}$ ja $U = k_2 n_0$, siis

$$T_{em} = \frac{2\pi J R}{k_1 k_2}. \quad (133)$$

Seda oligi vaja tõestada.

Avaldis (133) tõendab, et siirdeolukordades ankruringi takistuse muutmisel tuleb arvestada ka vastavat ajami elektromehaanilise ajakonstandi muutumist.

Arvestades momendi ja libistuse vahelist lineaarset sõltuvust, võime vastavalt valemile (129) kirjutada võrrandid (121) ja (123) (momentide sõltuvused) järgmisel kujul:

$$M_{m1} = M_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{em}}}\right) + M_{alg1} e^{-\frac{t}{T_{em}}}. \quad (134)$$

Asendanud libistused vastavate pöörlemissagedustega, saame

$$n_{m1} = n_{M1} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{em}}}\right) + n_{alg1} e^{-\frac{t}{T_{em}}}. \quad (135)$$

Avaldisest (134) selgub, et mootori moment muutub eksponentkõvera järgi (joon. 69).

Momendi M_{m1} piirväärtuseks on moment M_1, mille mootor teoreetiliselt võib saavutada lõpmata pika aja möödumisel ($t \to \infty$). Tegelikult loetakse see aeg ligikaudu võrdseks $4T_{em}$, mille jooksul mootori moment saavutab väärtuse $M_{m1} = 0{,}982 M_1$.

Võrrand (134) võimaldab leida mootori momendi väärtuse (M_{m1}) esimeses lõigus mistahes hetkel t. Erilist huvi pakub M_{m1} väärtus ajahetkel $t = t_1$, mil $M_{m1} = M_{v1}$.

Ilmselt

$$M_{v1} = M_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{em}}}\right) + M_{alg1} e^{-\frac{t}{T_{em}}}. \quad (136)$$

Avaldisega (136) on tõepoolest võimalik arvutada maksimaalmomenti (M_{v1}) esimeses lõigus, kuid nagu valemi (134) rakendamiselgi peab selleks olema teada väärtus M_{alg1}.

Momendi M_{alg1} saame leida, kui lahendame koos mõlema lõigu momendi võrrandid. Seepärast leiame momendi muutumise avaldise ka mootori momendi muutumise kohta teises lõigus.

Teine lõik ($0_1 \ldots 0_2$).

Liikumisvõrrand teise lõigu kohta:

$$M_{m2} - M_2 = 2\pi J \frac{dn}{dt}. \quad (137)$$

Samuti nagu esimeseski lõigus

$$s_{m2} - s_{M2} = -T_{em}\frac{ds}{dt}, \tag{138}$$

kus s_{m2} on libistus, mis vastab mootori muutuvale momendile teises lõigus (M_{m2});

s_{M2} — libistus, mis vastab takistusmomendile M_2.

Võrrandi (138) lahendiks on

$$s_{m2} - s_{M2} = (s_{v1} - s_{M2})\,e^{-\frac{t-t_1}{T_{em}}}$$

ehk

$$s_{m2} = s_{M2}\left(1 - e^{-\frac{t-t_1}{T_{em}}}\right) + s_{v1}\,e^{-\frac{t-t_1}{T_{em}}}, \tag{139}$$

kus t on aja jooksevkoordinaat, kui koormuskõvera teise lõigu kohta arvestada aega punktist 0;

s_{v1} — elektrimootori libistus teise lõigu siirdeolukorra algul, mil $t = t_1$.

Valemi (139) järgi kirjutame mootori momendi võrrandi teise lõigu kohta:

$$M_{m2} = M_2\left(1 - e^{-\frac{t-t_1}{T_{em}}}\right) + M_{v1}\,e^{-\frac{t-t_1}{T_{em}}}. \tag{140}$$

Avaldise (140) järgi võime arvutada M_{m2} väärtuse mistahes hetkel alates hetkest $t = t_1$ kuni hetkeni $t = t_1 + t_2$, kui on teada väärtus M_{alg1}, mis on vaja asetada avaldisse (136), et arvutada M_{v1}.

Enne kui arvutada M_{alg1}, leiame avaldise mootori momendi lõppväärtuse kohta teises lõigus, s. t. väärtuse $M_{m2} = M_{v2}$ kohta, kui $t = t_1 + t_2 = t_{ts}$.

Asetanud võrrandisse (140) aja $t = t_{ts}$ ja momendi M_{v1} avaldisest (136), saame:

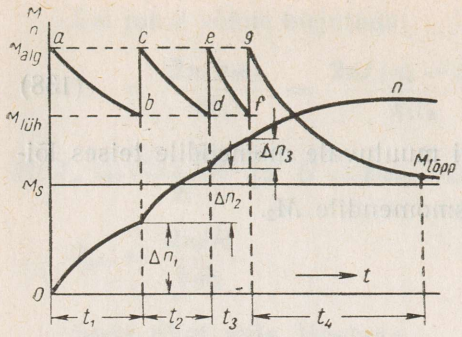
$$M_{v2} = M_2\left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_{em}}}\right) + M_{v1}\,e^{-\frac{t_2}{T_{em}}} = M_2\left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_{em}}}\right) +$$

$$+ M_1\left(e^{-\frac{t_2}{T_{em}}} - e^{-\frac{t_{ts}}{T_{em}}}\right) + M_{alg1}\,e^{-\frac{t_{ts}}{T_{em}}}. \tag{141}$$

Teades eespool leitud sõltuvusi, lähtume momendi M_{alg1} leidmiseks asjaolust, et agregaadi töö algusest küllalt kaugel olevas lõigus on perioodiliselt muutuval koormusel mootori poolt tsükli algul arendatav moment M_{alg1} võrdne sama tsükli lõpul arendatava momendiga M_{v2}.

Seda arvestades asetame valemisse (141) M_{v2} asemele M_{alg1} ja saame otsitava algmomendi avaldise:

$$M_{alg1} = \frac{M_2\left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_{em}}}\right) + M_1\left(e^{-\frac{t_2}{T_{em}}} - e^{-\frac{t_{ts}}{T_{em}}}\right)}{1 - e^{-\frac{t_{ts}}{T_{em}}}}. \tag{142}$$



Joon. 70. Mootori käivitusdiagramm ülesjooksukestuse arvutamiseks reostaadi üksikutel astmetel

Seega on suurus M_{alg1} hõlpsasti arvutatav, sest kõik avaldise (142) paremal poolel olevad suurused on töömasina koormuskõvera põhjal teada. Et aga M_{alg1} on teada, on täielikult määratud ka avaldised (134) ja (140), mis iseloomustavad mootori käitumist (tema momendi mõttes) kogu tsükli jooksul. Määratud on ka sõltuvused $s = f(t)$ ja $n = f_1(t)$.

Mootori ülesjooksukestus käivitusdiagrammi üksikutes lõikudes arvutatakse avaldistega (134) ja (140), eeldades, et mootori momendi kõikumine ei ületa piire $M_{alg} \ldots M_{lüh}$ (joon. 70). Siin on M_{alg} moment, mida mootor arendab käivituse algul; $M_{lüh}$ — mootori moment, mille puhul vastavalt arvutatud käivitustakistuse R_k osa lühistatakse.

Aeg t_1, mille jooksul mootori moment, muutudes ülesjooksul kõvera *ab* järgi, väheneb väärtuselt M_{alg} väärtusele $M_{lüh}$, leitakse valemiga (134), kui asetada sinna M_{m1} asemele $M_{lüh}$, $M_s = M_1$, $M_{alg} = M_{alg1}$ ja $t = t_1$.

Siis

$$M_{lüh} = M_s \left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_{em1}}}\right) + M_{alg}\, e^{-\frac{t_1}{T_{em1}}}, \qquad (143)$$

kus T_{em1} on elektriajami elektromehaaniline ajakonstant täielikult sisselülitatud käivitustakistuse puhul.

Siit

$$e^{-\frac{t_1}{T_{em1}}} = \frac{M_{alg} - M_s}{M_{lüh} - M_s}$$

ja

$$t_1 = T_{em1} \ln \frac{M_{alg} - M_s}{M_{lüh} - M_s}. \qquad (144)$$

Samal viisil arvutame ülesjooksukestused t_2 ja t_3, kui moment muutub kõveraid *cd* ja *ef* mööda, arvestades elektromehaanilisi ajakonstante T_{em2} ja T_{em3}.

Viimasel osal (alates punktist *g*), kui käivitustakistus on täielikult lühistatud ja mootor töötab loomulikul tunnusjoonel, moment aga läheneb püsiväärtusele $M_{lõpp} \to M_s$, arvutatakse ülesjooksukestus avaldise (144) eeskujul valemiga

$$t_4 = T_{em4} \ln \frac{M_{alg} - M_s}{M_{lõpp} - M_s}, \qquad (145)$$

kusjuures $M_{lõpp}$ läheneb lõpmatusele.

Selleks et ülesande lahend oleks määratud, võetakse tavaliselt $M_{lõpp} = 1{,}05M_s$. Siis kujuneb kestus t_4 lõplikuks.

Üksikute lõikude kaupa arvutatud ülesjooksukestused võib peale kogu käivituskestuse arvutamise võtta ka näiteks aluseks elektriajami käivituse automatiseerimiseks kasutatavate aegreleede rakendumiskestuste valikul.

Teades kestusi t_1, t_2, t_3 jne., võime avaldise (135) järgi arvutada ka mootori pöörlemissageduse juurdekasvud Δn_1, Δn_2 jne., mis vastavad mootori ülesjooksule käivitustakistuse vastavate andmete puhul.

Agregaadi vajalik taandatud inertsmoment arvutatakse mootori lubatud ülekoormusest lähtudes samuti valemi (134) järgi.

Lubatud ülekoormus võib olla tingitud mitmesugustest asjaoludest, kuid kõige sagedamini põhjustab seda püüe tagada ajami püsiv töö võrgupinge tunduva kõikumise korral või hoida töömasina pöörlemissageduse ebaühtlus talutavates piirides, nagu seda nõuab tehnoloogia. Moment mootori võllil M_m koormustipu M_1 ületamise lõpul pärast ajavahemikku t_1 ei tohi ühelgi juhul ületada teatud väärtust $M_{v1} = M_n\lambda$.

Siis

$$M_m = M_{v1} = M_n\lambda = M_1\left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}\right) + M_{alg1}\, e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}. \qquad (146)$$

Siit saame valemi (144) eeskujul:

$$t_1 = T_{em} \ln \frac{M_1 - M_{alg1}}{M_1 - M_n\lambda} \qquad (147)$$

või, arvestades avaldist (126),

$$t_1 = 2\pi J \frac{n_0 s_n}{M_n} \ln \frac{M_1 - M_{alg1}}{M_1 - M_n\lambda} \qquad (148)$$

ja

$$J = \frac{M_n t_1}{2\pi n_0 s_n} \cdot \frac{1}{\ln \dfrac{M_2 - M_{alg1}}{M_1 - M_n\lambda}}. \qquad (149)$$

Valemi (149) järgi arvutatud inertsmomendi J väärtus ei ole aga lõplik, sest momendi M_{alg1} väärtus valitakse arvutuse algul ligikaudselt seose $M_{alg1} = (1{,}0 \ldots 1{,}3)M_2$ põhjal.

Tegelikel arvutustel kontrollitakse valemi (149) tulemust mitmel korral mootori koormuskõvera $M_m = f(t)$ kujundamisega või arvutamisega vastavalt M_{alg1} mitmesugustele väärtustele. Püstitatud ülesanne loetakse lahendatuks, kui mingi M_{alg1} väärtuse järgi arvutamise tulemusena selgub, et $M_{v2} = M_{alg1}$. Et enamasti ei õnnestu saavutada täpset M_{alg1} ja M_{v2} ühtelangevust, lõpetatakse variantide arvutamine siis, kui nende väärtuste erinevus pole enam kuigi suur.

Et lahendada antud ülesanne otsitava inertsmomendi J suhtes üheselt, võetakse inertsmomendi J arvutamisel aluseks tema selline sõltuvus, milles suurust M_{alg1} otseselt ei esine.

Selleks asendatakse valemis (146) M_{alg1} väärtus valemist (142) saadud väärtusega.

Selle tulemusena saadakse:

$$M_n\lambda = M_1\left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}\right) + \frac{M_1\left(e^{-\frac{t_2}{T_{em}}} - e^{-\frac{t_{ts}}{T_{em}}}\right) + M_2\left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_{em}}}\right)}{1 - e^{-\frac{t_{ts}}{T_{em}}}} e^{-\frac{t_{ts}}{T_{em}}}. \quad (150)$$

Võrrandis (150) on ainult üks tundmatu — ajakonstant T_{em}. Sellele vaatamata ei lahendu võrrand algebraliselt, vaid T_{em} väärtuse saab avaldada ainult graafiliselt. Selleks asendatakse võrrandis (150) suhe t_1/T_{em} suurusega y ja suhe t_2/t_1 suurusega z ning eeldatakse, et

$$\frac{M_2}{M_1} = \alpha; \quad \frac{M_n\lambda}{M_1} = \frac{M_{v1}}{M_1} = \varkappa. \quad (151)$$

Pärast nimetatud asendusi ja mõningaid teisendusi omandab võrrand (150) järgmise kuju:

$$1 - \varkappa + (\varkappa - \alpha)e^{-y(z+1)} = (1 - \alpha)e^{-y}. \quad (152)$$

Sellest avaldisest saame leida y, mis on vahetus seoses elektriajami elektromehaanilise ajakonstandiga, sest $T_{em} = t_1/y$ ja viimase kaudu ka inertsmomendiga J.

Võrrand (152) lahendatakse graafiliselt ühtlustussuuruse W kaudu, mille määrab järgmine tingimus:

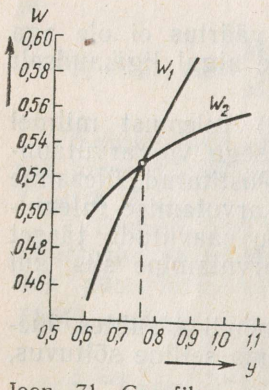
$$1 - \varkappa + (\varkappa + \alpha)e^{-y(z+1)} = W = (1 - \alpha)e^{-y}. \quad (153)$$

Kui α, z ja $\varkappa$ on antud, leitakse y järgmiste kõverate lõikepunkti abstsissina:

$$W_1 = 1 - \varkappa + (\varkappa - \alpha)e^{-y(z+1)} \quad (154)$$

ja

$$W_2 = (1 - \alpha)e^{-y}. \quad (155)$$



Joon. 71. Graafik agregaadi vajaliku inertsmomendi leidmiseks

Võrrandi (153) vasaku ja parema poole üldlahend saadakse nähtavasti tingimusel, et $W_1 = W_2 = W$.

Joonisel 71 on kujutatud sellise graafilise lahenduse näide juhu kohta, mil $y = 0{,}75$.

Võrrandi (152) lähem analüüs tõendab, et enamasti on avaldise $(\varkappa - \alpha)e^{-y(z+1)}$ väärtus üsna väike. Peamise tähtsusega on siin tegur $e^{-y(z+1)}$, mis sõltub astmenäitajast $y(z+1)$. Mis aga puutub suurusse $\varkappa - \alpha$, siis on see tegelikult alati väiksem kui 1.

Pole raske märgata, et juhul kui $y(z+1) \geqslant 4 \ldots 5$, võime avaldise $(\varkappa - \alpha)e^{-y(z+1)}$ ilma suurt viga tegemata ära jätta ja asendada valemi (152) ligikaudse valemiga

$$1 - \varkappa = (1 - \alpha)e^{-y}, \quad (156)$$

millega saab y väärtuse hõlpsasti arvutada algebraliselt:

$$y = \ln \frac{1-\alpha}{1-\varkappa} = \ln \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_n\lambda}. \tag{157}$$

Siit

$$T_{em} = \frac{t_1}{\ln \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_n\lambda}} \tag{158}$$

ja

$$J = \frac{M_n t_1}{2\pi n_0 s_n} \cdot \frac{1}{\ln \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_n\lambda}}. \tag{159}$$

Valemiga (159) võime arvutada y ligikaudse väärtuse ka siis, kui $y(z+1) < 4 \ldots 5$, et teha kindlaks y väärtuste piirkond arvutustabeli koostamiseks graafiku kujundamisel. Ligikaudsel arvutamisel valemi (157) järgi selgub ka avaldise $y(z+1)$ suurusjärk. Ilmselt juhul, kui $y(z+1) \geqslant 4 \ldots 5$, võib piirduda ainult arvutustega valemi (159) põhjal, rakendamata nii järkjärgulise lähenemise kui ka graafilist arvutusmeetodit.

§ 7. Lineaarse mehaanilise tunnusjoonega elektriajami töö, kui töömasina koormust kujutab perioodiline koosinuselis-ristkülikuline koormuskõver

Sageli tuleb valida hooratas elektriajamile, mille koormuskõver on kujutatud joonisel 72. Seda tüüpi koormuskõveraks võib teatava ligikaudsusega taandada väga palju korrapäratu kujuga tegelikke koormuskõveraid.

Selle koormuskõvera kohta võib kirjutada analüütilise avaldise lõikude kaupa.

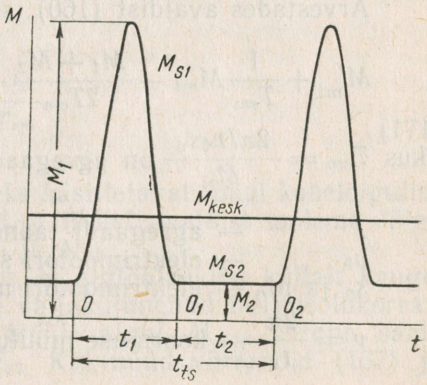
Lõigus $0 \ldots 0_1$

$$M_{s1} = \frac{M_1 + M_2}{2} - \frac{M_1 - M_2}{2} \cos \frac{2\pi}{t_1} t, \tag{160}$$

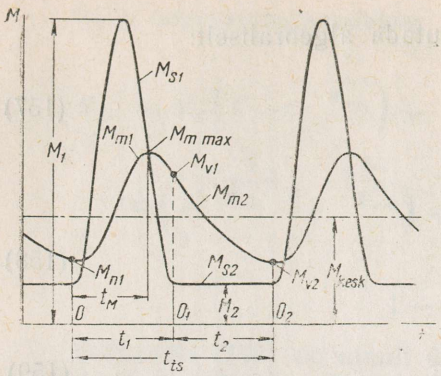
kus M_{s1} on töömasina takistusjõudude moment koormuskõvera antud lõigus;

M_1 — takistusmomendi maksimaalväärtus;

M_2 — takistusmoment lõigus $0_1 \ldots 0_2$;



Joon. 72. Töömasina koosinuselis-ristkülikuline koormuskõver



Joon. 73. Töömasina ja elektrimootori koormuskõverad

t_1 — töö kestus esimeses lõigus, mis tavaliselt kujutab endast töötamiskestust;
t — aja jooksevkoordinaat, kui arvestuse alguseks on punkt 0.

Lõigus $0_1 \ldots 0_2$

$$M_{s2} = M_2 = \text{const.} \tag{161}$$

Töö kestuseks teises lõigus takistusmomendiga M_2 on t_2, mis tavaliselt kujutab endast masina tühijooksukestust.

Tsükli kestus perioodilisel koormusel on

$$t_{ts} = t_1 + t_2. \tag{162}$$

Vajalik seos ajami põhisuuruste ja töömasina koormuskõvera vahel luuakse mootori koormuskõvera võrranditega esimese lõigu $(0 \ldots 0_1)$ ja teise lõigu $(0_1 \ldots 0_2)$ kohta (joon. 73), mis üldjuhul on $M_{m1} = f(t)$ ja $M_{m2} = \varphi(t)$. Leiame need võrrandid.

Võrrand esimese lõigu kohta. Elektrimootori lineaarse mehaanilise tunnusjoone korral on agregaadi liikumisvõrrand järgmine:

$$M_{m1} - M_{s1} = -T_{em}\frac{dM_{m1}}{dt} = -T_{em}M_{m1}. \tag{163}$$

Siit

$$M'_{m1} + \frac{1}{T_{em}}M_{m1} - \frac{1}{T_{em}}M_{s1} = 0. \tag{164}$$

Arvestades avaldist (160), saame:

$$M'_{m1} + \frac{1}{T_{em}}M_{m1} - \frac{M_1 + M_2}{2T_{em}} + \frac{M_1 - M_2}{2T_{em}}\cos \nu t = 0, \tag{165}$$

kus $T_{em} = \dfrac{2\pi J n_0 s_n}{M_n}$ on agregaadi elektromehaaniline ajakonstant;

J — agregaadi taandatud inertsmoment;
n_0 — elektrimootori sünkroonpöörlemissagedus;
s_n ja M_n — elektrimootori nimilibistus ja nimimoment;
$\nu = \dfrac{2\pi}{t_1}$ — koormuse muutumise nurksagedus.

Diferentsiaalvõrrandi (165) lahend on järgmine:

$$M_{m1} = \frac{M_1 + M_2}{2} - \frac{(M_1 - M_2)\left(\frac{1}{T_{em}}\cos \nu t + \nu \sin \nu t\right)}{2T_{em}\left(\frac{1}{T_{em}^2} + \nu^2\right)} +$$

$$+ \left(M_{alg1} - \frac{M_1 + M_2}{2} + \frac{M_1 - M_2}{2T_{em}^2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_{em}^2} + \nu^2}\right) e^{-\frac{t}{T_{em}}}. \qquad (166)$$

Võrrandi (166) tuletamisel on eeldatud, et hetkel $t = 0$ on $M_{m1} = M_{alg1}$, kus M_{alg1} on moment, mida mootor arendab tsükli algul.

Võrrand (166) võimaldab antud M_{alg1} väärtuse puhul arvutada M_{m1} mistahes hetkel t, näiteks hetkel $t = t_1$, mil $M_{m1} = M_{v1}$:

$$M_{v1} = \frac{M_1 + M_2}{2} - \frac{M_1 - M_2}{2T_{em}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_{em}^2} + \nu^2} +$$

$$+ \left(M_{alg1} - \frac{M_1 + M_2}{2} + \frac{M_1 - M_2}{2T_{em}^2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_{em}^2} + \nu^2}\right) e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}. \qquad (167)$$

Võrrand teise lõigu kohta. Lähtevõrrand on

$$M_{m2} - M_2 = -T_{em} M'_{m2}. \qquad (168)$$

Siit

$$M'_{m2} + \frac{1}{T_{em}} M_{m2} = \frac{M_2}{T_{em}}. \qquad (169)$$

Diferentsiaalvõrrandi (169) lahendiks saame:

$$M_{m2} = M_2 + (M_{v1} - M_2) e^{-\frac{t - t_1}{T_{em}}}. \qquad (170)$$

Kui $t = t_1 + t_2 = t_{ts}$, siis

$$M_{m2} = M_{v2} = M_2 + (M_{v1} - M_2) e^{-\frac{t_2}{T_{em}}}. \qquad (171)$$

M_m avaldise üldise lahendi saamiseks käsitletavat tüüpi kahelõigulise koormuskõvera puhul on vaja teada M_{alg1} üldist avaldist mõlema lõigu kohta. Sel juhul on hõlpus määrata M_{v1} ja M_{v2}.

Kasutame M_{alg1} määramisel asjaolu, et algtöötsüklist küllalt kaugel olevas lõigus, s. t. vahelduva koormuse väljakujunenud talitlusolukorras, on mootori poolt arendatav moment tsükli algul M_{alg1} võrdne sama tsükli lõpul arendatava momendiga M_{v2}. Kui nüüd võrrandid (167) ja

(171) koos lahendada, siis saame:

$$M_{alg1} = M_{v2} = M_2 + \frac{M_1 - M_2}{2}\left(\frac{T_{em}^2 \nu^2}{1 + T_{em}^2 \nu^2}\right)\frac{1 - e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}}{e^{\frac{t_2}{T_{em}}} - e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}}. \quad (172)$$

Et elektriajami taandatud inertsmomendi arvutamise lähtesuuruseks vahelduval koormusel on mootori lubatud ülekoormatavus momendi järgi, mis väljendub mootori koormuskõvera esimese lõigu maksimaalmomendina $M_{m\,max}$, siis on vaja leida mootori momendi võrrand esimese lõigu kohta ja teha kindlaks seda väljendava funktsiooni maksimumi tingimused.

Asetame võrrandisse (166), mis väljendab mootori momenti esimeses lõigus, algmomendi M_{alg1} väärtuse võrrandist (172). Siis kujuneb otsitav võrrand järgmiseks:

$$M_{m1} = M_2 + \frac{M_1 - M_2}{2(1 + T_{em}^2 \nu^2)}\left\{1 - \cos \nu t - \nu T_{em} \sin \nu t + \right.$$

$$\left. + T_{em}^2 \nu^2 \left[1 + \frac{\left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_{em}}}\right) e^{-\frac{t}{T_{em}}}}{e^{\frac{t_2}{T_{em}}} - e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}}\right]\right\}. \quad (173)$$

Arvutusdiagramm. Sõltuvuse (173) maksimumi uurimine tõendab, et maksimaalmoment mootori võllil tekib tingimusel

$$\left(\cos 2\pi \frac{t_M}{t_1} - \frac{t_1}{2\pi T_{em}} \sin 2\pi \frac{t_M}{t_1}\right) e^{\frac{t_M}{T_{em}}} = \frac{e^{\frac{t_2}{T_{em}}} - 1}{e^{\frac{t_2}{T_{em}}} - e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}}. \quad (174)$$

Avaldises (174) on suurus t_M punkti $M_{m\,max}$ abstsiss, mis määrab maksimaalmomendi mootori võllil.

Nagu näha, seostab avaldis (174) momendi maksimumi asendi töömasina koormuskõvera vahelduvate põhimuutujatega t_1, t_2 ja elektriajami ajakonstandiga T_{em}.

Nelja transtsendentse muutuja[1] funktsionaalse sõltumuse lahendamine valemi (174) kujul on aga liiga keerukas ja ebamugav isegi graafiliselt (lahendamine on võimalik ainult diagrammide albumi abil). Selleks et ülesande lahendamist hõlbustada, teisendatakse võrrandit (174) nii, et see annab kolme muutuja vahelise sõltuvuse:

$$F(x, y, z) = 0. \quad (175)$$

[1] Transtsendentne arv on arv, mis ei ole esitatav ratsionaalsete kordajatega algebralise võrrandi lahendina. *Tõlk.*

Selleks asetatakse valemisse (174) järgmised dimensioonita suhted:

$$\frac{t_M}{t_1} = x; \quad \frac{t_1}{T_{em}} = y; \quad \frac{t_2}{t_1} = z. \tag{176}$$

Siis omandab võrrand (174) järgmise kuju:

$$\left(\cos 2\pi x - \frac{y}{2\pi}\sin 2\pi x\right) e^{xy} = \frac{e^{yz} - 1}{e^{yz} - e^{-y}}. \tag{177}$$

Uute muutujate abiksvõtmine võimaldab vähendada muutujate arvu võrrandis (174) ühele. Vaatamata sellele jääb võrrand (177) ikkagi transtsendentseks ja on lahendatav ainult graafiliselt ühtlustussuuruse W abil. Seejuures lähtutakse järgmisest tingimusest:

$$\left(\cos 2\pi x - \frac{y}{2\pi}\sin 2\pi x\right) e^{xy} = W = \frac{e^{yz} - 1}{e^{yz} - e^{-y}}. \tag{178}$$

Saadud sõltuvused on kujutatud joonisel 74 kõverate $\varphi(x, y, z) = \text{const} = 0$ parvena, s. t. seal on kujutatud kõigi nende suuruste funktsionaalne sõltuvus, mis väljendavad hoorattaga elektriajami abil käivitatava agregaadi liikumist, sest $x = x(t_1, t_2, t_M, M_1, M_2, M_{m\,max})$; $y = y(t_1, T_{em})$, kus omakorda $T_{em} = T_{em}(J, \omega_0, s_n, M_n)$; $z = z(t_1, t_2)$.

Joonisel 74 kujutatud diagrammi abil on hõlpus saada lahend mistahes loetletud kümne muutuja suhtes, mida seostab sõltuvus $F(x, y, z) = 0$. Mõnedel x ja z väärtustel on aga võimalik sõltuvust (178) tunduvalt lihtsustada ja lahend, eriti y suhtes, saadakse lihtsa valemina. Näiteks tõendab sõltuvuse (178) analüüs, et kui $z = 0$, s. t. töömasina koormuskõver on tavaline harmooniline kõver, leitakse y väärtus seosest

$$y = 2\pi \operatorname{ctg} 2\pi x. \tag{179}$$

Kui lubada väikest viga (0...2%), võib valemit (179) kasutada mistahes z väärtustel 0 kuni $+\infty$, kui suurus x vastab tingimusele $0{,}5 < x < 0{,}62$. Graafik sellise olukorra kohta on kujutatud joonise 74 keskel.

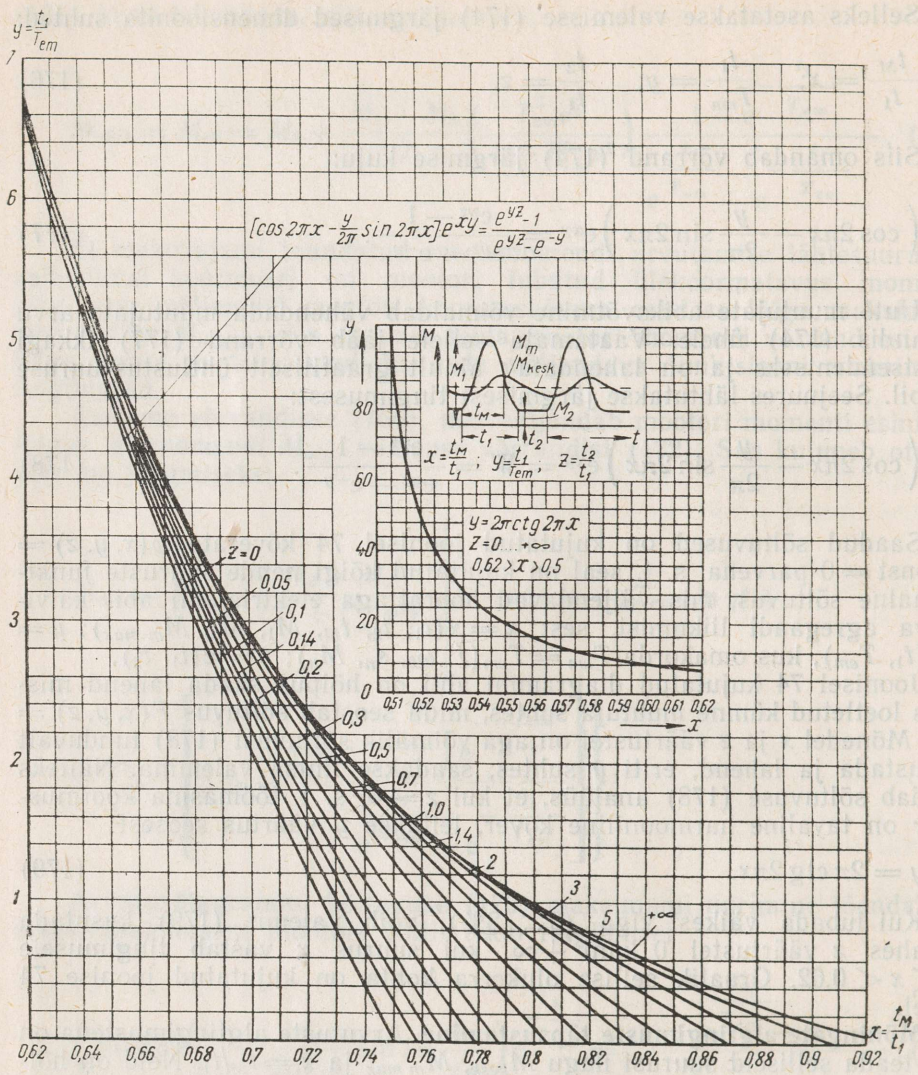
Mõningate algtingimuste täpsustamine. Arvutuste algtingimustena on vaja teada selliseid suurusi nagu M_{kesk}, $M_{m\,max}$ ja $x = t_M/t_1$. Neid on hõlpus leida, kui on antud töömasina koormuskõver $M_s = f(t)$ ja on kindlaks määratud mootori ülekoormatavuse või pöörlemissageduse ebaühtluse määr. Allpool esitatakse valemid nende suuruste arvutamiseks. Peale selle on hoorattaga elektriajamite arvutamisel oluline hinnata eelnevalt mootori arvutuslikku nimimomenti M_{na}, mille kindlakstegemist oluliselt hõlbustab selliste arvutuslike suuruste teadmine nagu töömasina koormuskõvera kujutegur k_{tk} ja mootori koormuskõvera kujutegur k_{mk}.

Suuruste M_{kesk}, $M_{m\,max}$ ja x leidmine. Kui on teada töömasina koormuskõvera avaldised (160) ja (161), võime arvutada momendi keskväärtuse M_{kesk} järgmiste valemite järgi:

$$M_{kesk} = M_2 + \frac{M_1 - M_2}{2} \cdot \frac{t_1}{t_{ts}} \tag{180}$$

või

$$M_{kesk} = M_2 + \frac{M_1 - M_2}{2(1 + z)}. \tag{181}$$



Joon. 74. Sõltuvuste $F(x, y, z) = 0$ diagramm

Mootori lubatud ülekoormusmoment (või koormusmoment) $M_{m\,max}$ leitakse tavaliselt seosest

$$M_{m\,max} = M_{na}\lambda, \tag{182}$$

kus $M_{na} \geqslant k_{mk}M_{kesk}$ on mootori arvutuslik nimimoment, mis valitakse arvutuse algul ligikaudselt;

k_{mk} — tegur, mis arvestab mootori soojenemistingimusi;

λ — mootori lubatud mehaanilise ülekoormuse tegur.

Suurus x arvutatakse avaldise (160) järgi hetke kohta $t = t_M$, mil $M_{s1} = M_{m\,max}$:

$$x = \frac{t_M}{t_1} = \frac{1}{2\pi} \arccos\left(1 - 2\frac{M_{m\,max} - M_2}{M_1 - M_2}\right). \tag{183}$$

Töömasina koormuskõvera kujutegur kujutab endast töömasina momendi ruutkeskmise või ekvivalentse momendi M_{te} suhet töömasina koormuskõvera keskväärtusse M_{kesk}:

$$k_{tk} = \frac{M_{te}}{M_{kesk}}. \tag{184}$$

Seega on k_{tk} arvutamiseks vaja teada M_{te} ja M_{kesk} väärtusi. Momendi M_{kesk} väärtus arvutatakse valemite (180) või (181) järgi.

Momendi M_{te} väärtuse arvutamisel lähtutakse koormuskõvera koosinuselis-ristkülikulise muutumise seaduspärasusest lõikudes $0 \ldots 0_1$ ja $0_1 \ldots 0_2$:

$$M_{te} = \sqrt{\frac{1}{t_1 + t_2}\left\{\int_0^{t_1}\left(\frac{M_1 + M_2}{2} - \frac{M_1 - M_2}{2}\cos\frac{2\pi}{t_1}t\right)^2 dt + \int_{t_1}^{t_1+t_2} M_2^2\, dt\right\}}, \tag{185}$$

kust pärast integreerimist ja vastavat teisendamist saame:

$$M_{te} = M_1\sqrt{\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 + \frac{t_1}{8(t_1+t_2)}\left[3 + 2\frac{M_2}{M_1} - 5\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2\right]}. \tag{186}$$

Jaganud võrrandi (186) võrrandiga (180), leiame koormuskõvera kujuteguri avaldise:

$$k_{tk} = \frac{M_1\sqrt{\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2 + \frac{t_1}{8(t_1+t_2)}\left[3 + 2\frac{M_2}{M_1} - 5\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2\right]}}{M_2 + \frac{M_1 - M_2}{2}\cdot\frac{t_1}{t_1+t_2}}. \tag{187}$$

Nagu avaldisest (187) selgub, on koormuskõvera kujutegur täielikult arvutatav sõltuvalt neljast muutujast t_1, t_2, M_1 ja M_2, mis on olulisemad koormuskõverat iseloomustavad suurused.

Tegeliku arvutamise jaoks on mugavam, kui väljendada avaldis (187) dimensioonita suhete

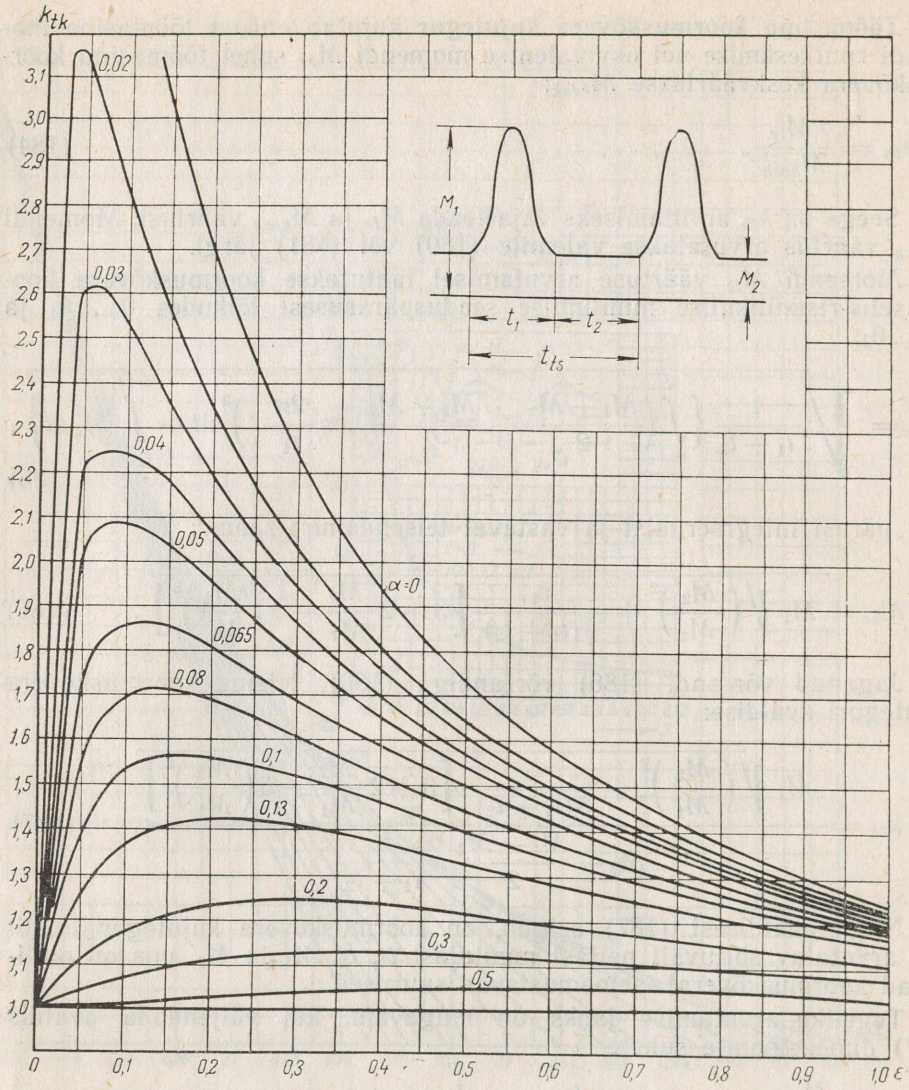
$$\alpha = \frac{M_2}{M_1} \quad \text{ja} \quad \varepsilon = \frac{t_1}{t_1+t_2} = \frac{t_1}{t_s} \tag{188}$$

kaudu.

Asetanud need suurused avaldisse (187), saame:

$$k_{tk} = \sqrt{\frac{\left(4 - \frac{5}{2}\varepsilon\right)\alpha^2 + \alpha\varepsilon + \frac{3}{2}\varepsilon}{\alpha(2-\varepsilon) + \varepsilon}}. \tag{189}$$

Avaldisest (189) nähtub, et dimensioonita suhete abiksvõtmisega vähenes sõltumatute muutujate arv neljalt kahele (α, ε). Valem on omandanud sellise kuju, mille puhul võib kujundada diagrammi $k_{tk} = f(\alpha, \varepsilon)$, mis annab täieliku pildi seose k_{tk} ja töömasina koormuskõverat iseloomustavate suuruste vahel (joon. 75). Diagrammi kujundamisel on eeldatud, et α on mingi abimuutuja, ε aga sõltumatu muutuja. Kujundatud



Joon. 75. Diagramm töömasina koosinuselis-ristkülikulise koormuskõvera kujuteguri leidmiseks

diagrammi analüüs tõendab, et antud abimuutuja α puhul on funktsioonil (189) maksimum, kusjuures ülesande lahendamine maksimumi suhtes annab:

$$\varepsilon_{max} = \frac{6\alpha(\alpha^2 - 2\alpha + 1)}{5\alpha^3 - 7\alpha^2 - \alpha + 3}. \qquad (190)$$

See avaldis määrab antud α puhul maksimumi asukoha ja võimaldab leida tema väärtuse.

Saadud diagrammi vaatlemisel selgub, et koormuskõvera kujutegur võib tegelikest tingimustest sõltuvalt väga laiades piirides muutuda.

Suurt huvi pakuvad k_{tk} väärtused $\varepsilon = 1$ puhul. See olukord kujutab

endast erijuhtu, mis vastab ulatuslikule harmoonilise koormusega koormuskõverate klassile. Nagu on näha valemist (189) ja jooniselt 75, muutub seda tüüpi koormuskõverate kujutegur sõltuvalt abimuutujast α rangelt piiritletud vahemikus:

$$k_{tk} = 1 \ldots \sqrt{\frac{3}{2}} = 1 \ldots 1{,}225. \tag{191}$$

Diagramm annab ettekujutuse k_{tk} piirväärtustest töömasina koosinuselis-ristkülikulise koormuskõvera puhul α ja ε mitmesugustel väärtustel.

Mootori koormuskõvera kujutegur kujutab endast lõikude $0 \ldots 0_1$ ja $0_1 \ldots 0_2$ (joon. 73) kohta eksponentfunktsioonide $M_{m1} = f(t)$ ja $M_{m2} = \varphi(t)$ põhjal leitud mootori ekvivalentse momendi M_{me} ja keskmise momendi M_{kesk} suhet:

$$k_{mk} = \frac{M_{me}}{M_{kesk}}. \tag{192}$$

Kujuteguri k_{mk} kiire ja mugava leidmise võimalus on väga soovitatav nii hoorattaga elektriajami soojenemise põhjal tehtud arvutuse esialgsete tulemuste kontrollimisel kui ka mootori arvutusliku nimimomendi M_{na} valikul. Selleks sobib avaldis

$$M_{me} = k_{mk} M_{kesk} \leqslant M_{na} \leqslant M_n, \tag{193}$$

kus M_n on kataloogi järgi valitava mootori nimimoment.

Rakendades üldtuntud meetodit, arvutatakse mootori ekvivalentne moment joonisel 73 kujutatud koormuskõvera puhul järgmise valemi järgi:

$$M_{me} = \sqrt{\frac{1}{t_1 + t_2}\left(\int_0^{t_1} M_{m1}^2 \, dt + \int_{t_1}^{t_1+t_2} M_{m2}^2 \, dt\right)}. \tag{194}$$

Valemisse (194) asetatakse mootori momentide M_{m1} ja M_{m2} analüütilised avaldised (170) ja (173). Jaganud avaldise (194) avaldisega (180), leiame:

$$k_{mk} = \frac{\sqrt{\frac{1}{t_1 + t_2}\left(\int_0^{t_1} M_{m1}^2 \, dt + \int_{t_1}^{t_1+t_2} M_{m2} \, dt\right)}}{M_2 + \frac{M_1 - M_2}{2} \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2}}. \tag{195}$$

Pärast avaldise (195) integreerimist saame:

$$k_{mk} = \frac{1}{M_2 + \frac{M_1 - M_2}{2} \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2}} \sqrt{\frac{1}{t_1 + t_2}\left[M_2^2 (t_1 + t_2) + \right.}$$

$$+\sqrt{M_2(M_1-M_2)t_1+\frac{(M_1-M_2)^2}{4(t_1^2+4\pi^2T_{em}^2)^2}(1{,}5t_1^5+10T_{em}^2\pi^2t_1^3+}$$

$$+\sqrt{16\pi^4T_{em}^4t_1)+\frac{4(M_1-M_2)^2T_{em}^5\pi^4}{(t_1^2+4\pi^2T_{em}^2)^2\cdot\left(e^{\frac{t_2}{T_{em}}}-e^{\frac{t_1}{T_{em}}}\right)^2}}\cdot$$

$$\cdot\sqrt{\left(e^{\frac{2t_2-t_1}{T_{em}}}-e^{\frac{2t_2}{T_{em}}}-e^{\frac{t_1}{T_{em}}}-e^{\frac{2t_1}{T_{em}}}+e^{\frac{t_2}{T_{em}}}+e^{\frac{t_2-2t_1}{T_{em}}}\right)}\Big]. \quad (196)$$

Avaldis (196) annab kujuteguri k_{mk} sõltuvuse viiest muutujast: M_1, M_2, t_1, t_2 ja T_{em}.

Muutujate arvu vähendamiseks seome valemisse (196) kuuluvad füüsikalised suurused järgmiste dimensioonita seoste kaudu:

$$\alpha=\frac{M_2}{M_1},\quad \varepsilon=\frac{t_1}{t_1+t_2},\quad y=\frac{t_1}{T_{em}}. \quad (197)$$

Siis saab teisendada avaldise (196) järgmiseks:

$$k_{mk}=\frac{2}{\alpha(2-\varepsilon)+\varepsilon}\sqrt{\alpha^2(1-\varepsilon)+\alpha\varepsilon+\frac{(1-\alpha)^2\varepsilon}{(y^2+4\pi^2)^2}\Big\{0{,}375y^4+}$$

$$+\sqrt{2{,}5\pi^2y^2+4\pi^4\Big[1+\frac{1}{y\left(e^{y\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}-e^{-y}\right)^2}\cdot}$$

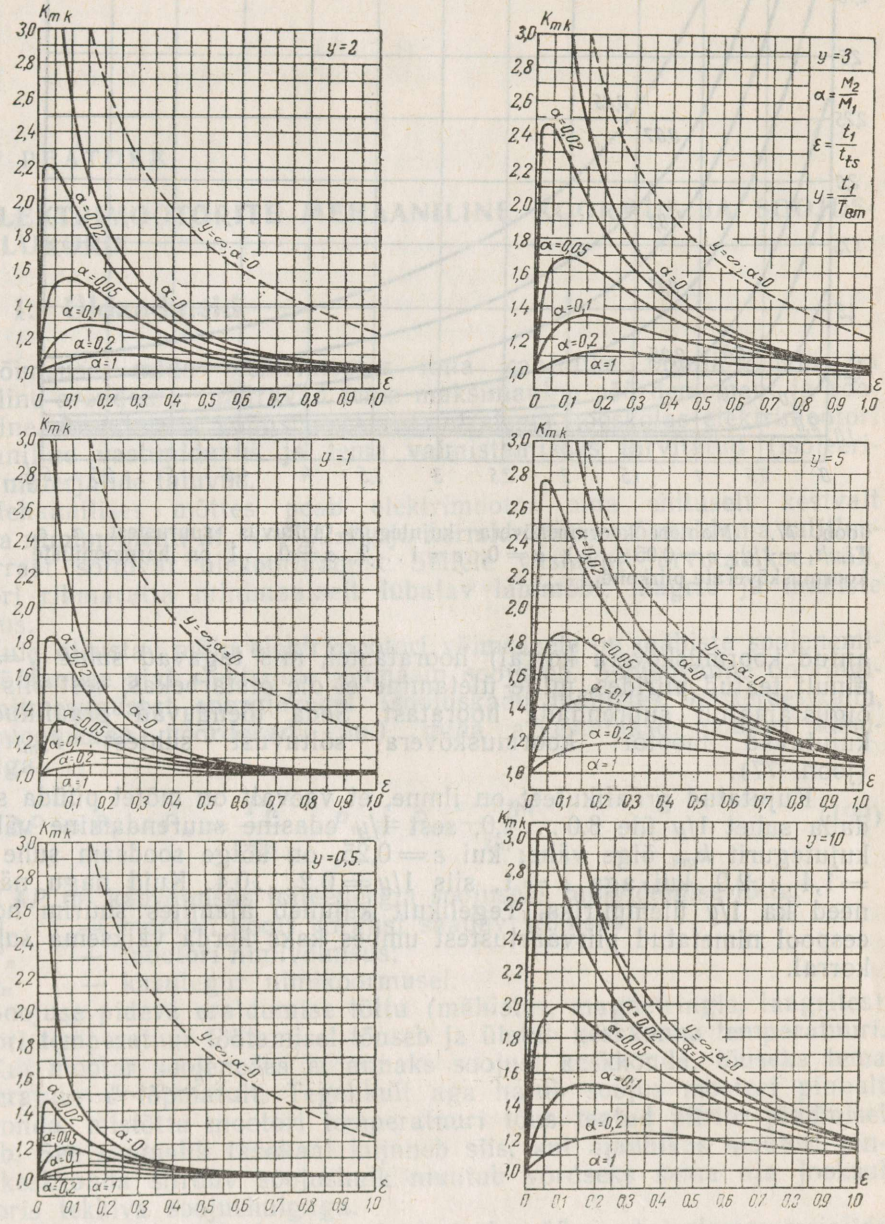
$$\cdot\sqrt{\left(e^{y\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}-e^{2y\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}-e^{-y}+e^{-2y}+e^{y\frac{2-3\varepsilon}{\varepsilon}}-e^{y\frac{1-3\varepsilon}{\varepsilon}}\right)}\Big]\Big\}. \quad (198)$$

Avaldise (198) eelis avaldise (196) ees seisneb selles, et ta võimaldab sõltuvuste $k_{mk}=f(\alpha,\varepsilon,y)$ analüüsimisel rakendada graafilist meetodit.

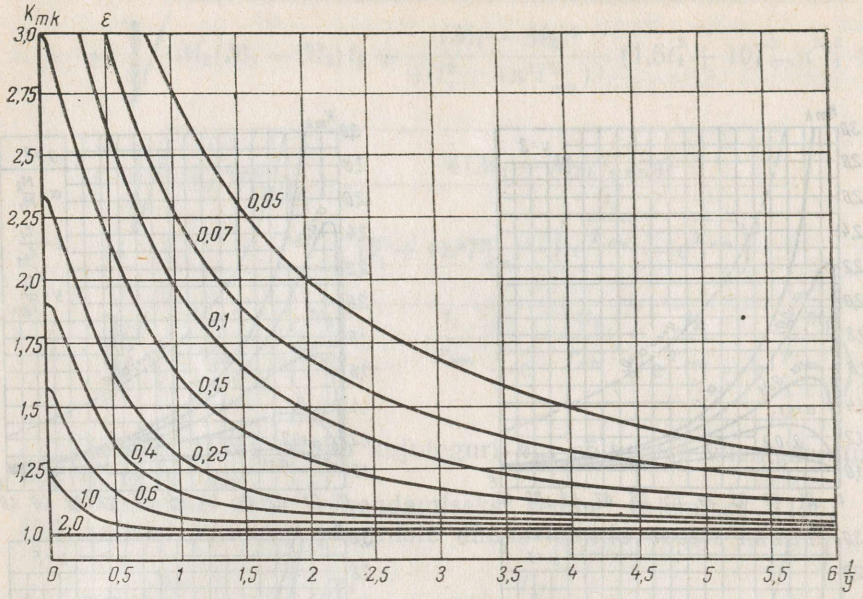
Joonisel 76 on esitatud diagrammid väärtuste kohta $y=0{,}5\ldots1{,}0\ldots$ $\ldots2{,}0\ldots3{,}0\ldots5{,}0\ldots10$. Kõigil diagrammidel on kriipsjoonega kujutatud hoorattata ajami puhul esinev piirjuhtum, mil $y=\infty$. Diagrammid annavad piltliku ja täpse kujutluse hoomasside ja käsitletavat tüüpi koormuskõverate põhisuuruste mõjust kujutegurile k_{mk}. Antud α, ε ja y väärtuste puhul (eelnevate arvutustulemuste kontrollimisel) võimaldavad diagrammid leida k_{mk} ja teha kindlaks, kas mootori arvutuslik moment M_{na} vastab projekteeritud ajami soojenemise nõuetele.

Diagrammidest on näha, et hoomasside mõju kujutegurile k_{mk} on seda suurem, mida väiksem on $y=t_1/T_{em}$. Vajadus hooratta järele, arvestades mootori nimivõimsuse vähendamise nõuet, on seda suurem, mida väiksemad on α ja ε.

Mitmesugusel y väärtusel saadud diagrammide võrdlemisel selgub ka, et ühesuguste α ja ε väärtuste puhul on suurem mõju (töömasina



Joon. 76. Diagramm mootori koormusköövera kujuteguri leidmiseks töömasina koosinuselis-ristkülikulise koormusköövera korral: ——— hoorattata ajam (kui α = var); ———— hoorattaga ajam



Joon. 77. Mootori koormuskõvera kujuteguri sõltuvus suurustest α, ε, $T_{em}/t_1 = 1/y$; $\varepsilon = 0{,}05 \ldots 1{,}0$, $\alpha = 0$; $\varepsilon = 1 \ldots 2$, $\alpha = 0 \ldots 1$ on harmooniliste koormuskõverate piirkond

antud koormuskõvera korral) hooratastel, mis tagavad suhte $y = t_1/T_{em}$ ainult teatud piirides, mille ületamine ei ole otstarbekas, sest siis tuleks õigustamatult suurendada hooratast. Seda tõendavad graafikud, mis kujutavad mootori koormuskõvera sõltuvust suhtest $T_{em}/t_1 = 1/y$ (joon. 77).

Kujutatud graafikutest on ilmne, et vaevalt on mõtet püüda suurendada suhet $1/y$ üle 3,0 ... 4,0, sest $1/y$ edasine suurendamine vähendab kujutegurit k_{mk} õige vähe; kui $\varepsilon = 0{,}25$, on kõige soodsam suhe $1/y = 1{,}4 \ldots 2{,}0$, kui aga $\varepsilon = 1$, siis $1/y = 0{,}2 \ldots 0{,}4$. Kuid nagu näha, on need ka $1/y$ ülempiiriks. Tegelikult kujuneb ajamites suurim hooratas eespool nimetatud piirväärtustest umbes kaks korda väiksema suhte $1/y$ korral.

IV PEATÜKK

ELEKTRIMOOTORITE MEHAANILINE KOORMUS JA SOOJUSOLUKORD

§ 1. Üldandmeid

Võimsuse, mida elektrimootor ilma kahjulike tagajärgedeta on võimeline arendama, määravad tema maksimaalne pöördemoment ja soojenemine. Arendatava võimsusega peavad olema kooskõlas elektrimootori mehaaniline vastupidavus ja tema valmistamiseks tarvitatud (isoleerivate) materjalide taluvus.

Mehaanilises mõttes peab elektrimootor oma ehituselt kestvalt taluma nimimomenti $M_n = P_n/2\pi n_n$ ja normide piires võimaldama talitlusolukorrast sõltuvat ülekoormamist. Sellele vastavalt arvutatakse võll, mootori rihmaratta minimaalselt lubatav läbimõõt, laagrid ja mähiste kinnitus.

Kuid otsustav mõju elektrimootori võimsusele on mähiste soojenemisel. Töötamise ajal elektriline jõumasin soojeneb. Soojenemine on tingitud mitmesugusest energiakaost (soojuskadu mähistes, hüstereesikadu, pöörisvoolukadu, hõõrdekadu jm.), mida arvestatakse mootori kasuteguriga.

$$\Sigma \Delta P = P_v - P_n = \frac{P_n}{\eta_n} - P_n = P_n \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \tag{199}$$

kus $\Sigma \Delta P$ on kaovõimsus toiteenergia soojuseks muundumise tõttu;

P_v — mootori poolt võrgust saadav võimsus;

P_n — mootori nimivõimsus;

η_n — kasutegur nimikoormusel.

Soojuse pideva eraldumise tõttu (mähistes, magnetringis, laagrites) mootori temperatuur töötamisel tõuseb ja ületab keskkonna temperatuuri.

Kui mootor soojenedes ei annaks soojust keskkonda, tõuseks tema temperatuur ϑ lõpmatult. Tegelikult aga hajub soojus mootori pinnalt keskkonda, mistõttu mootori temperatuuri tõus teatud piirini jõudmisel lakkab. See soojuslik tasakaal kujuneb siis, kui ajaühikus mootori pinnalt keskkonda siirduv soojushulk muutub võrdseks sama aja jooksul mootoris tekkiva soojushulgaga.

Mootori piirtemperatuuri soojenemisel määravad isoleermaterjalide omadused. Seepärast peavad mootori teatud võimsusele (muude ühesuguste tingimuste korral) vastama täiesti kindel soojussiire ja järelikult ka mootori teatud mõõtmed. Mida võimsam on mootor, seda rohkem eraldub soojust ja seda suuremad peavad olema tema mõõtmed.

Riikliku standardiga ГОСТ 8865-58 jaotatakse kõik elektrimasinates kasutatavad isoleermaterjalid neile lubatud maksimaalse temperatuuri ehk kuumataluvuse järgi seitsmesse klassi.

Tabel 2

Isolatsiooni klass	Y	A	E	B	F	H	C
Lubatud piirtemperatuur °C	90	105	120	130	155	180	Üle 180

Soojenemise lubatud piirtemperatuurid klasside järgi on esitatud tabelis 2.

Y-klassi isoleermaterjalid on immutamata ja õlisse sukeldamata puuvillkedrus, paber ja kiudmaterjalid tselluloosist ning siidist.

A-klassi isoleermaterjalide hulka kuuluvad samad materjalid mis Y-klassigi, kuid immutatuna või õlisse või mistahes muusse vedelasse dielektrikusse sukeldatuna, samuti emailtraadi valmistamiseks tarvitatavad emailid ja lakid.

Põllumajanduses kasutatavatel väikese ja keskmise võimsusega elektrimootoritel on peamiselt A-klassi isolatsioon.

E-klassi moodustavad sünteetilised orgaanilised kiled.

B-klassi isolatsioon valmistatakse vilgust, asbestist, klaaskiust ja muudest anorgaanilistest materjalidest, kusjuures sideainetena kasutatakse orgaanilise päritoluga materjale.

B-klassi isolatsiooniga mootorid võivad töötada sagedase ülekoormusega ja kõrgema temperatuuriga keskkonnas.

F-klassi isolatsioon valmistatakse samadest materjalidest millest B-klassi isolatsioongi, kuid side- ja immutusainetena kasutatakse küllaldase kuumataluvusega sünteetilisi materjale.

H-klassi isolatsioon valmistatakse anorgaanilistest B-klassi isoleermaterjalidest koos suure kuumataluvusega räniorgaaniliste ehk nn. silikoonlakkidest sideainetega.

C-klassi isolatsioon valmistatakse vilgust, kvartsist, klaasist ja keraamikamaterjalidest; sideainetena kasutatakse anorgaanilisi segusid. Kui isolatsioon koosneb eri klassi isoleermaterjalidest, ei tohi neist ühegi materjali temperatuur ületada temale lubatud piirtemperatuuri.

Tabelis 2 esitatuist kõrgematel temperatuuridel hakkavad isoleerained oma isoleerivaid omadusi kaotama ja mootor rikneb kiiresti. Katsed tõendavad, et A-klassi isolatsioon talub temperatuuri 105° C usaldatavalt üle 25 aasta, aga temperatuuri 140° C vaid mõne kuu.

Et elektrimootori temperatuuri mõõtmiseks rakendatavatel meetoditel ei saa kindlaks teha mähiste tegelikku kõrgeimat temperatuuri, on võetud appi maksimaalse täheldatava temperatuuri mõiste. Selleks temperatuuriks võetakse tabelis 2 esitatud maksimaalsetest temperatuuridest 10 K võrra madalam temperatuur.

Arvutuste lihtsustamiseks arvestatakse ka ühtset keskkonnatemperatuuri, millelt algab mootori soojenemine.

Riikliku standardiga määratud keskkonnatemperatuur $\vartheta_0 = +35°$ C. Enamiku A-klassi isolatsiooniga väikese- ja keskmisevõimsuseliste mootorite kõrgeim lubatud ületemperatuur, s. t. temperatuur, mille võrra mootori temperatuur tohib keskkonna temperatuurist kõrgemale tõusta, on seega $\vartheta_{max} = 95 - 35 = 60$ K.

Sellest ületemperatuurist lähtudes arvutataksegi mootori nimikoormusel esineva energiakao arvel tekkiva soojuse kandumine keskkonda — soojuse ärakanne ehk soojussiire.

Kui keskkonna temperatuur on alla +35° C, võib mootorit üle nimi-

võimsuse koormata, kui aga keskkonna temperatuur on üle +35° C (suvel Nõukogude Liidu lõunapiirkondades), osutub nimikoormusel töötav mootor soojuslikult ülekoormatuks ja tema koormamiskestust tuleb vastavalt lühendada.

§ 2. Elektrimootori soojenemis- ja jahtumisvõrrand

Mootori soojenemise arvutamisel lähtutakse järgmistest lihtsustavatest eeldustest.

1. Mootor kujutab endast ühtset keha, millel on lõpmata suur sisemine soojusjuhtivus, mistõttu tema kõigi punktide temperatuur on ühesugune.
2. Keskkonna temperatuur on soojenemise kestel püsiv.
3. Soojussiirdetegur ei sõltu temperatuurist ning soojuse ärakanne keskkonda on võrdeline mootori ja keskkonna temperatuuri vahega.
4. Mootori soojuskadu ja soojusmahutavus ei sõltu temperatuurist.

Enne soojenemisvõrrandi tuletamist on vaja tutvuda selles olevate põhiliste füüsikaliste suurustega.

Mootori soojuskao võimsus

$$Q = \Sigma \Delta P \text{ W}, \tag{200}$$

kus $\Sigma \Delta P$ on mootoris tekkivate võimsuskadude summa W;
Q — mootoris ühes sekundis tekkiv soojushulk J.

Mootori soojussiire leitakse järgmise valemiga:

$$A = \Sigma hS \text{ W/K}, \tag{201}$$

kus h on soojussiirdetegur W/(m^2 · K),
S — soojust keskkonda ärakandev pindala m^2.

Soojussiirdeteguri h väärtus sõltub soojust ärakandva pinna liikumise kiirusest:

$$h = h_0(1 + \beta \sqrt{v}), \tag{202}$$

kus h on soojussiirdetegur kiirusel v m/s;
h_0 — soojussiirdetegur kiirusel $v = 0$;
β — katseliselt saadud tegur, mille väärtus igal mootoriosal on erisugune.

Mootori üldine soojusmahutavus

$$C = \Sigma c_0 m \text{ J/K}, \tag{203}$$

kus c_0 on massierisoojus J/(kg · K);
m — mootori osade mass kg.

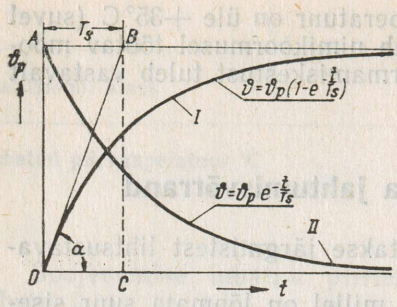
Mootori temperatuuri muutumise seaduspärasus püsikoormusel töötamise puhuks tuletatakse soojeneva mootori soojusbilansi võrrandist, mis lõpmata lühikese aja kohta on järgmine:

$$Q\mathrm{d}t = A\vartheta\mathrm{d}t + C\mathrm{d}\vartheta, \tag{204}$$

kus ϑ on ületemperatuur antud hetkel,
$\mathrm{d}\vartheta$ — mootori temperatuuri lõpmata väike juurdekasv aja $\mathrm{d}t$ jooksul.

Diferentsiaalvõrrandi (204) lahendamisel ületemperatuuri ϑ suhtes saame:

$$\vartheta = \frac{Q}{A}\left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{At}{C}} + \vartheta_0 \mathrm{e}^{-\frac{At}{C}}\right) \text{ K}. \tag{205}$$



Joon. 78. Mootori soojenemis- ja jahtumiskõver: I — soojenemiskõver, II — jahtumiskõver

Kui mootori soojenemine algab hetkel, mil tema temperatuur võrdub keskkonna temperatuuriga (s. t. esialgne ületemperatuur $\vartheta_0 = 0$), avaldub võrrandiga (205) väljendatud mootori ületemperatuuri ajaline muutus järgmisel kujul:

$$\vartheta = \frac{Q}{A}\left(1 - e^{-\frac{At}{C}}\right) \text{ K.} \tag{206}$$

Avaldistest (205) ja (206) ilmneb, et mootori temperatuur muutub eksponentkõvera järgi (joon. 78).

Mootori temperatuur saavutab püsiväärtuse siis, kui $t = \infty$; sel juhul

$$e^{-\frac{At}{C}} = 0 \quad \text{ja} \quad \vartheta_p = \frac{Q}{A}. \tag{207}$$

Avaldis (207) kinnitab varem tehtud oletust, et elektrimootori püsitemperatuur sõltub ainult mootoris ajaühikus tekkivast soojusest Q ja soojussiirdest A.

Soojusmahutavuse jagatist soojussiirdega C/A, mis väljendub ajaühikutes ($[T] = [C/A] = J \cdot K/(K \cdot W) = J \cdot deg \cdot s/(K \cdot J) = s$), tähistatakse T_s ja nimetatakse *soojenemise ajakonstandiks*.

Siis avaldub valem (206) järgmisel kujul:

$$\vartheta = \vartheta_p\left(1 - e^{-\frac{t}{T_s}}\right) \text{ K.} \tag{208}$$

See ongi mootori soojenemisvõrrand lõplikul kujul.

Soojenemise ajakonstandi T_s füüsikaline sisu selgub pärast murru C/A mõningat teisendamist. Korrutame murru lugejat ja nimetajat temperatuuriga ϑ_p. Siis

$$T_s = \frac{C}{A} = \frac{C\vartheta_p}{A\vartheta_p} = \frac{C\vartheta_p}{Q}$$

ja

$$QT_s = C\vartheta_p. \tag{209}$$

Avaldisest (209) näeme, et soojushulk, mis eraldub mootoris aja T_s jooksul, kui ajaühikus kadudest tekkiv soojus on Q, võrdub soojushulgaga, mida on vaja mootori soojendamiseks püsitemperatuurile ϑ_p, kui mootori soojusmahutavus on C.

Avaldises (209) ei esine aga soojust, mis tegelikult keskkonda siirdub.

Järelikult on soojenemise ajakonstant T_s aeg, mille jooksul mootori ületemperatuur (antud koormusel) saavutaks püsiväärtuse ϑ_p, kui ei esineks soojuse siirdumist keskkonda.

Soojussiirde tõttu saavutab mootori ületemperatuur aja T_s jooksul tegelikult väärtuse $\vartheta = 0{,}632\vartheta_p$.

Teoreetiliselt kulub püsitemperatuuri saavutamiseks lõpmata pikk aeg. Tegelikus töös loetakse mootori temperatuur püsivaks pärast aja $t = (4 \ldots 5)T_s$ möödumist (tab. 3).

Tabel 3

t	T_s	$2T_s$	$3T_s$	$4T_s$	$5T_s$
ϑ/ϑ_p	0,632	0,865	0,950	0,982	0,993

Tabelist 3 näeme, et aja $t = 4T_s$ möödumisel mootori ületemperatuur $\vartheta = 0{,}982\vartheta_p$ ja temperatuuri edasine tõus on väga aeglane. Vastavalt standardile ГОСТ 183-55 on temperatuur püsiv, kui ta tunni jooksul ei tõuse üle ühe kraadi.

Soojenemise ajakonstant, mis sõltub ainult mootori ehitusest, iseloomustab soojenemise kiirust. Mida suurem on soojusmahutavus, seda aeglasemalt mootor soojeneb. Mida suurem on soojuse eraldumine, seda kiiremini toimub soojenemine. Soojenemise ajakonstant on kinnise ehitusega mootoritel suurem kui lahtistel, sest väline jahutuspindala peaks ühesuguste kadude korral olema suletud mootoritel suurem, pindala suurendamisel kasvaksid aga ka mootori mõõtmed. Pealegi suurenevad pindala ja soojussiire võrdeliselt joonmõõtmete ruuduga, mootori ruumala ja soojusmahutavus kasvavad aga võrdeliselt joonmõõtmete kuubiga.

Kui mootori kõik muud andmed on ühesugused, siis on soojenemise ajakonstant sundjahutusega mootoritel väiksem kui sundjahutuseta mootoritel.

Pärast väljalülitamist hakkab mootor jahtuma.

Selleks et saada jahtumise kohta võrrandit, on vaja asetada soojusbilansi võrrandisse (204) $Q = 0$. Siis

$$A\vartheta dt + Cd\vartheta = 0. \tag{210}$$

Selle diferentsiaalvõrrandi lahend ongi jahtumisvõrrand:

$$\vartheta = \vartheta_p e^{-\frac{t}{T_j}}. \tag{211}$$

Kui soojenemise ja jahtumise ajakonstant on teineteisega võrdsed, siis on jahtumiskõver (joon. 78) soojenemiskõvera peegelpildiks.

Selline olukord esineb ainult sõltumatu sundjahutusega mootoritel, mille ventilaatorit käitab omaette mootor. Sundjahutuse tõttu oleks mootori soojussiire töötamisel A võrdne soojussiirdega seismisel A_0, mis mootori jääva soojusmahutavuse C korral annaks $T_s = T_j$.

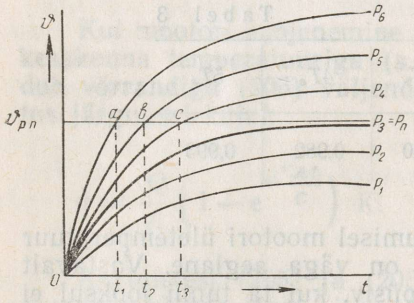
Kõigil teistel mootoritel aga sõltuvad jahtumise tõhusus ning soojusvahetuse ja soojussiirde tingimused oluliselt pöörlemissagedusest, mistõttu ajakonstant T_j on seisval mootoril 3 ... 4 korda suurem kui täissagedusega pöörleval mootoril. Nende asjaolude tõttu on tegelik jahtumiskõver joonisel 78 kujutatust tunduvalt laugjam.

§ 3. Elektrimootori soojenemine mitmesugusel koormusel

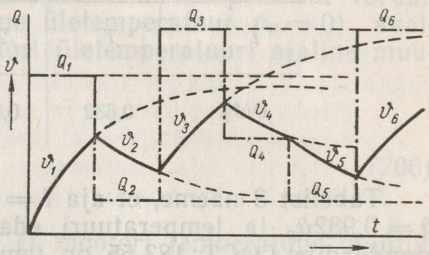
Igasugusele koormusele vastavad teatud kaod ja lõplik püsitemperatuur väljakujunenud olukorras $\vartheta_p = Q_x/A$.

Antud mootori töötamise kohta mitmesugusel koormusel P_1, P_2, P_3, P_4 jne. saame terve rea soojenemiskõveraid (joon. 79). Nimiolukorrale vastab kõver P_3. Kõverad P_4, P_5 ja P_6 iseloomustavad soojuslikku ülekoormust, kõverad P_1 ja P_2 aga soojuslikku alakoormust.

Koormustel P_4, P_5 ja P_6 on mootori töötamine piiratud kestustega



Joon. 79. Soojenemiskõverad mitmesugustel koormustel



Joon. 80. Soojenemiskõver muutlikul koormusel

t_1, t_2 ja t_3. Neist kestvamal töötamisel $\vartheta > \vartheta_p$, mis normide järgi pole lubatud.

Muutuval koormusel, kui kaod on Q_1, Q_2, Q_3, ..., Q_6 (joon. 80), kujuneb murtud soojenemiskõver. Igakordsel koormuse muutumisel püüab soojenemiskõver kulgeda antud ajalõigul tekkivatele kadudele vastavale püsitemperatuurile ϑ_p (kujutatud kriipsjoonega).

Koormuse suurenemisel mootori temperatuur kasvab, koormuse vähenemisel (Q_2, Q_5 on mootori tühijooksukaod) aga alaneb.

§ 4. Peamised elektrimootori võimsust mõjustavad soojenemisega seoses olevad tegurid

Mootori väljakujunenud talitlusolukorra kohta kehtivatest soojenemisvõrranditest järeldub, et

$$Q = A\vartheta_p = \Sigma \Delta P,$$

kust

$$\Sigma \Delta P = A\vartheta_p. \qquad (212)$$

Et $\Sigma \Delta P = \frac{P_n}{\eta_n} - P_n = P_n \frac{1-\eta_n}{\eta_n}$, siis arvestades avaldist (212), võime mootori võimsuse P_n arvutada kadusid ja soojuslikke omadusi iseloomustavate tegurite kaudu:

$$P_n = \Sigma \Delta P \frac{\eta_n}{1-\eta_n} = A\vartheta_p \frac{\eta_n}{1-\eta_n} \text{ W}. \qquad (213)$$

Avaldisest (213) selgub, et teatud mõõtmetega mootori võimsust saab suurendada:

1) mootori kasuteguri suurendamisega;
2) suurendades materjali kuumataluvust, mida iseloomustab ϑ_p;
3) mootori soojussiirde suurendamisega.

Ehitusviisi täiustamise, täpse arvutuse, suurema kuumataluvusega isoleermaterjalide ja mitmesuguste jahutusvahendite kasutuselevõtuga on õnnestunud metallikulu võimsusühiku kohta märgatavalt vähendada.

Väga tõhusad abinõud, mis vähendavad mootori massi võimsusühiku kohta, on sundjahutus ja jahtumistingimuste parendamine.

Mootori kasutamisel on A, ϑ_p ja η_n alati eelnevalt kindlaks määratud; ülesanne seisneb vaid selles, et neid oskuslikult ära kasutada. Eriti on vaja mootori kere korrapäraselt tolmust puhastada. Mõnikord kaitstakse lahtise ehitusega mootoreid tolmu või veepritsmete eest kohapeal valmistatud kattega. Soojussiirde halvenemise tõttu aga mootori poolt arendatav võimsus sel juhul märgatavalt väheneb.

§ 5. Keskkonna temperatuuri mõju elektrimootori võimsusele

Mootori poolt arendatavat võimsust piirab tema mähiste lubatud ületemperatuur. Kui keskkonna temperatuur ϑ_0 on üle $+35°$ C, ei või A-klassi isolatsiooniga mootorit nimivõimsuseni koormata, sest seejuures tekkiv 60 K ületemperatuur tõstaks mähiste temperatuuri üle normidega lubatud 95° C. Kui keskkonna temperatuur ϑ_0 on alla $+35°$ C, tekib mootori töötamisel passis ettenähtud võimsusega ületemperatuur 60 K, mistõttu mootori materjalide kuumataluvus pole täiel määral ära kasutatud.

Mootori kasutamisel on tarvis teada, kui palju tema koormust ühe- või teistsuguse 35° C-st erineva keskkonnatemperatuuri puhul nimivõimsusega võrreldes suurendada või vähendada võib. Tuletame mootori võimsuse ümberarvutamiseks valemi. Et ületemperatuur on võrdeline kadudega, võime mootori nimikoormusel töötamiseks lubatud ületemperatuuri avaldada järgmiselt:

$$\vartheta = K \Sigma \Delta P = K(\Delta P_c + \Delta P_v), \tag{214}$$

kus K on võrdetegur;

ΔP_c — mootori püsikaod (mehaanilised kaod, hüstereesi- ja pööris-voolukadu ning energiakadu alalisvoolumootori rööpergutusmähises);

ΔP_v — muutuvkaod (koormusest sõltuv energiakadu alalisvoolumootori ankrumähises või vahelduvvoolumootori staatori- ja rootorimähises).

Pidades silmas, et muutuvkaod ΔP_v on võrdelised voolu ruuduga, võime kirjutada kadude avaldise mistahes koormusel järgmisel kujul:

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v x^2, \tag{215}$$

kus ΔP_c ja ΔP_v on püsi- ja muutuvkaod nimikoormusel;

$x = I_x/I_n$ — koormusega muutuva voolu ja nimivoolu suhe.

Et koormuse väikestel kõikumistel võib enamiku elektrimootorite tarbimisvoolu pidada võrdeliseks võimsusega, siis $x = P_x/P_n$.

Sel juhul saab keskkonna temperatuuri puhul, mis erineb standard-

sest temperatuurist $\Delta\vartheta = 35 - \vartheta$ võrra, avaldada seose lubatud ületemperatuuri ja selle vastavate kadude vahel järgmiselt:

$$\vartheta_{pn} + \Delta\vartheta = K(\Delta P_c + \Delta P_v x^2). \tag{216}$$

Muidugi võib selles avaldises olla suurus $\Delta\vartheta$ keskkonna tegeliku temperatuuri suhtes kas positiivne või negatiivne.

Tähistame püsi- ja muutuvkadude suhte nimikoormusel tähega α, s. t. $\alpha = \frac{\Delta P_c}{\Delta P_v}$, ja asendame avaldises (216) võrdeteguri K tema väärtusega avaldisest (214). Siis

$$\vartheta_{pn} + \Delta\vartheta = \frac{\vartheta_{pn}}{\alpha\Delta P_v + \Delta P_v}(\alpha\Delta P_v + \Delta P_v x^2) = \vartheta_{pn}\frac{\alpha + x^2}{\alpha + 1}.$$

Siit leiame, et

$$x = \sqrt{1 + \frac{\Delta\vartheta}{\vartheta_{pn}}(\alpha + 1)}. \tag{217}$$

Mootori otsitav võimsus

$$P_x = P_n\sqrt{1 + \frac{\Delta\vartheta}{\vartheta_{pn}}(\alpha + 1)}. \tag{218}$$

Ligikaudsel arvutamisel võib püsi- ja muutuvkadude suhte valida järgmiselt:

rööpergutusmootoritel	1,0
asünkroonmootoritel	0,5 ... 0,7
jadaergutusmootoritel	0,5
sünkroonmootoritel	1,5 ... 2,0

Niisiis, kui keskkonna temperatuur on normist madalam, võib mootorit soojuslikult veidi üle koormata. Mehaanilistest sõlmedest on ülekuumenemise mõttes aga nõrgaks kohaks laagrid (lubatud piirtemperatuur liugelaagritele 80° C, veerelaagritele 95° C), mistõttu mootori ülekoormamise korral tuleb hoolikalt jälgida nende õlitatust ja temperatuuri.

Kui mootor töötab kestvalt keskkonnas, mille temperatuur on normist kõrgem, ei tohi koormus nimivõimsuseni ulatuda. Seda on vaja mootori valikul ja tellimisel arvestada.

Madala keskkonnatemperatuuri puhul (talvel) võivad muud elektrimasinad ja -aparaadid (näiteks trafod, mis varustavad energiaga töökodasid ja abikäitisi) taluda märgatavat ülekoormust, mis on üsna soodne, sest tavaliselt on just talvel töökodades kõige rohkem tööd.

V PEATÜKK

KÄITAVA MOOTORI VAJALIKU VÕIMSUSE LEIDMINE MITMESUGUSE TALITLUSOLUKORRA JAOKS

§ 1. Elektrimootorite liigitus talitlusolukorra järgi

Elektrimootori, samuti juhtimisaparatuuri võimsuse ja tüübi valikul on otsustav tähtsus töömasina koormuse iseloomul.

Tänapäeval jaotatakse kõik tootmismasinatel esinevad koormused kolme rühma: 1) *kestev talitlus*, 2) *lühiajaline talitlus* ja 3) *vaheajaline talitlus*.

Elektrimootoreid toodetakse samuti kolme nimitalitluse jaoks: kestvale, lühiajalisele ja vaheajalisele talitlusele.

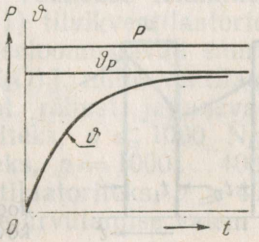
Vastavalt standardile ГОСТ 183-55 *nimetatakse elektrimootori kestvaks nimitalitluseks sellist talitlusolukorda, mil töötamiskestus on nii pikk, et elektrimootori kõigi osade ületemperatuur saavutab jahutava keskkonna püsiva temperatuuri korral tegelikult püsiväärtuse* (joon. 81).

Nimivõimsuseks kestval talitlusel nimetatakse võimsust, mida mootor võib arendada piiramatu aja vältel. Seejuures ei või mootori üksikute osade temperatuur ϑ ületada ettenähtud määra. Kui mootori sildile ei ole võimsuse kohta erilist lisamärkust kantud, siis mõeldakse mootori nimivõimsuse all võimsust kestval talitlusel.

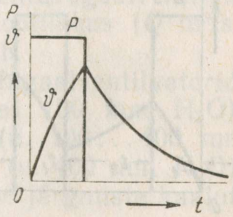
Kestev talitlus on iseloomulik enamikule põllumajanduses kasutatavatele elektriajamitele. Viljapeksumasinad, teraviljapuhastid, sorteerimismasinad, veskid, silolõikurid, enamik tööpinke remonditöökodades, pumbad, ventilaatorid töötavad ilma seiskamata pikka aega.

Elektrimootori lühiajaliseks nimitalitluseks nimetatakse sellist talitlusolukorda, mil elektrimootori kõigi osade ületemperatuur ei saavuta püsiväärtust ja vaheajad mootori talitluses on nii pikad, et talitluse taasalustamisel ei erine mootori ühegi osa temperatuur jahutava keskkonna temperatuurist.

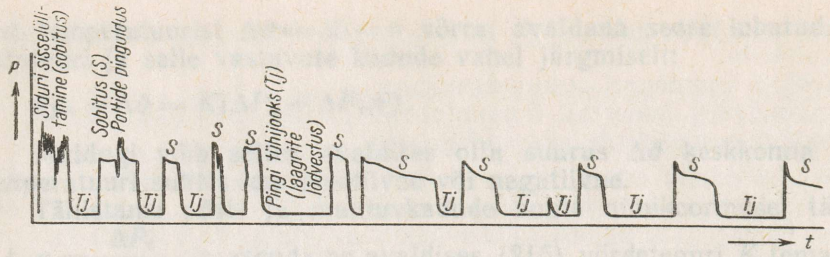
Mootori nimivõimsuseks lühiajalisel talitlusel (joon. 82) *nimetatakse võimsust, mida mootor võib normides ettenähtud määral soojenemata*



Joon. 81. Koormus- ja soojenemiskõver kestval talitlusel



Joon. 82. Koormus- ja soojenemiskõver lühiajalisel talitlusel



Joon. 83. Laagrisobituspingi koormuskõver

arendada ainult teatud aja vältel. Lühiajaliseks talitluseks määratud elektrimootori sildile märgitakse nimivõimsus koos lisamärkusega «... minuti vältel». Lühiajalise talitluse standardsed töötamiskestused on 15, 30, 60 ja 90 minutit.

Lühiajalises talitluses töötavad mootorid sildade tõstmisel, tammide tõkkekilpide tõstmisel, lüüside avamisel, inkubaatorites hauderaamide pööramisel, reostaatide lülitamisel mõnedes nuppjuhtimisega lülitustes, remondi- ja montaažikraanade ning -vankrite käitamisel, mil töö kestab mõne minuti või isegi sekundi, misjärel mootor pikaks ajaks välja lülitatakse.

Elektrimootori vaheajaliseks nimitalitluseks nimetatakse sellist talitlusolukorda, mil lühiajalised püsival nimikoormusel töötamised vahelduvad lühikeste vaheaegadega, mille jooksul on mootor välja lülitatud, kusjuures ei töötamis- ega ka vaheajakestus pole nii pikad, et elektrimootori üksikute osade ületemperatuur võiks saavutada püsiväärtuse.

Vaheajalise talitluse võib jaotada kolme alaliiki.

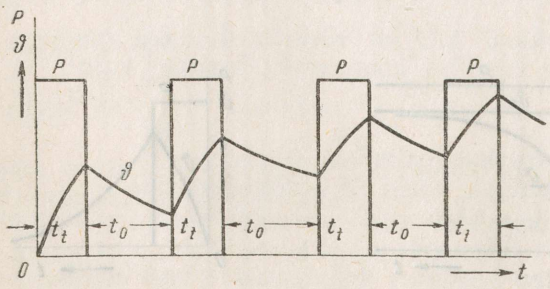
1. *Perioodiline vaheajaline talitlus* on selline, mille puhul mootor lülitatakse sisse ja välja enam-vähem rangelt kindlaksmääratud vaheaegade järel (elektrikünnivints, augulöömispink, käärid).

2. *Mitteperioodiline vaheajaline talitlus püsikoormusega* on selline, mil elektrimootor lülitatakse sisse tootmisvajadusest sõltuvalt, seega ebakorrapäraselt (automaatse elektripumbajaama mootor).

3. *Mitteperioodiline vaheajaline talitlus muutuvkoormusega.* Selliselt töötavad heina ja põhu tõstmise vints, talid, laagrisobituspink (joon. 83), väntvõllide lihvimispink.

Ühe talitlustsükli kestus (töötamiskestuse ja vaheajakestuse summa) on vaheajaliseks talitluseks määratud mootorite katsetamisel (joon. 84) 10 minutit ($t_{ts} = 10$ min).

Vaheajalist talitlust iseloomustab suhteline lülituskestus, mille all mõeldakse töötamiskestuse suhet vaheaja- ja töötamiskestuse summasse.



Joon. 84. Koormus- ja soojenemiskõver vaheajalisel talitlusel

Suhtelist lülituskestust tähistatakse tähega ε suhtarvuna või *ПВ* protsentides:

$$\varepsilon = \frac{t_t}{t_t + t_0} = \frac{t_t}{t_{ts}}, \tag{219}$$

$$ПВ = \frac{t_t}{t_t + t_0} 100\%. \tag{220}$$

Riikliku standardiga ГОСТ 183-55 on kehtestatud järgmised suhtelised lülituskestused: $ПВ = 15$, 25, 40 ja 60%. Tegelikult võib ühe talitlustsükli kestel olla mitu töötamisjärku ja vaheaega (seisakut või tühijooksu). Töötamine võib olla ebakorrapärane ja koormus töötamise kestel muutuv. Sel juhul määratakse suhteline lülituskestus kogu töötamiskestuse suhtena kõigi töötamis- ja vaheajakestuste summasse:

$$\varepsilon = \frac{\Sigma t_t}{\Sigma t_t + \Sigma t_0}. \tag{221}$$

Nimivõimsuseks vaheajalisel talitlusel nimetatakse võimsust, mida mootor arendab töötamisjärkude ja vaheaegade kestval korrapärasel vaheldumisel antud suhtelise lülituskestuse puhul, ilma et ta soojeneks üle normidega lubatud määra.

Vaheajaliseks talitluseks määratud elektrimootori sildile tuleb märkida nimivõimsus koos lisamärkusega «vaheajalisel talitlusel», kusjuures näidatakse ära, kui suur on suhteline lülituskestus.

Masina tellimisel tuleb lisada selgitav märkus selle kohta, kas ta on vaheajal tühijooksul või välja lülitatud.

§ 2. Kestev püsikoormus

Kestva püsikoormusega masinat käitava elektrimootori võimsuse valiku aluseks on: 1) koormuskõverad, mis saadakse mingi registreeriva mõõteriistaga (vattmeetriga, ampermeetriga, dünamomeetriga); 2) tarbimisvõimsuse normatiivid, mis arvestavad energiakulu ja toodangu hulka; 3) tüüpiliste talitlusolukordade alusel tehtavad teoreetilised arvutused.

Mõõteriistaga registreeritud võimsus, korrutatud mootori kasutegurriga, või teoreetiliselt või tabelitest saadud arvutuslik võimsus on see võimsus, mille järgi elektrimasinate kataloogidest valitakse mootor. Valitud mootorit kontrollitakse seejuures ainult käivitusmomendi suhtes, kusjuures arvestatakse, et enamikul masinatel on suurem hõõrdetakistus paigaltnihke hetkel või suur takistus pöörlemissageduse kasvades käivitamisel.

Suur takistusmoment käivitamisel on lintsaagidel, savisõtkuritel, kolbpumpadel, mõnedel transportööridel jt. masinatel.

Ventilaatori mootori võimsuse leidmine. Ehituse järgi jagunevad ventilaatorid kahte liiki: 1) tiivikventilaatorid ja 2) tsentrifugaalventilaatorid. Ventilaatori tööd iseloomustavad suurused on tootlikkus (Q m³/s) ja rõhk [p N/m² (mm H_2O)], mille ventilaator tekitab.

Sõltuvalt tekitatavast rõhust jagunevad tsentrifugaalventilaatorid: 1) madalrõhuventilaatoriteks, $p \leqslant 1000$ N/m² (umbes 100 mm H_2O), 2) keskrõhuventilaatoriteks, $p = 1000 \ldots 4000$ N/m² (u. 100 ... 400 mm H_2O) ja 3) kõrgrõhuventilaatoriteks, $p \geqslant 4000$ N/m² (u. 400 mm H_2O).

Ventilaatori võimsuse arvutamise valem tuletatakse järgmiste kaalut-

luste põhjal. Torust, mille ristlõige on S m^2, puhutakse läbi õhku kiirusega v m/s. Ajaühikus läbipuhutava õhu mass

$$m = Sv\varrho \text{ kg/s}, \tag{222}$$

kus ϱ on õhu tihedus kg/m^3.

Ventilaator haarab õhku kaasa, annab sellele kiiruse v ja saadab õhu selle kiirusega sihtkohta. Seejuures saab ajaühikus läbipuhutava õhu mass sama aja jooksul ventilaatorilt kineetilise energia

$$A = \frac{mv^2}{2} = \frac{Sv^3\varrho}{2} \text{ J/s}. \tag{223}$$

Jaganud avaldise (223) ventilaatori kasuteguriga η_v ja ülekandemehhanismi kasuteguriga $\eta_ü$, saame võimsuse mootori võllil:

$$P_m = \frac{Sv^3\varrho}{2\eta_v\eta_ü}. \tag{224}$$

Tegelikult kasutatakse ventilaatori mootori võimsuse arvutamiseks valemi (224) teisendatud kuju

$$P_m = \frac{Qp}{\eta_v\eta_ü}, \tag{225}$$

kus Q on ventilaatori tootlikkus m^3/s;

p — ventilaatori summaarne dünaamiline rõhk N/m^2 (1 mm H_2O = = 9,81 N/m^2).

$$\left.\begin{aligned} Q &= Sv, \\ p &= \frac{\varrho v^2}{2} \end{aligned}\right\}. \tag{226}$$

Ventilaatorite kasutegurid on järgmised: võimsatel ventilaatoritel 0,40 ... 0,75; keskmise võimsusega tsentrifugaalventilaatoritel 0,3 ... 0,5; väikese võimsusega tiivikventilaatoritel 0,20 ... 0,35. Tiivikventilaatoriga tekitatav rõhk on 40 ... 100 N/m^2 (u. 4 ... 10 mm H_2O). Ülekandemehhanismi kasutegur sõltub ülekandemehhanismi liigist.

Avaldisest (226) nähtub, et ventilaatori tootlikkus toru teatud ristlõike puhul on võrdeline õhu kiirusega. Et aga õhu kiirus on otseses seoses ventilaatori pöörlemissagedusega, siis on ventilaatori tootlikkus võrdeline pöörlemissagedusega:

$$Q = Sv \sim n. \tag{227}$$

Avaldisest (224) selgub, et ventilaatori võimsus on võrdeline õhu kiiruse kuubiga ja seega ka ventilaatori pöörlemissageduse kuubiga:

$$P \sim v^3 \sim n^3. \tag{228}$$

Ventilaatori pöördemoment avaldub järgmiselt: $M = P/2\pi n$. Et aga võimsus on võrdeline pöörlemissageduse kuubiga, siis on pöördemoment võrdeline pöörlemissageduse ruuduga:

$$M \sim \frac{n^3}{} \sim n^2. \tag{229}$$

Kiiruse ruuduga on võrdeline ka dünaamiline rõhk

$$p = \frac{\varrho v^2}{2} \sim n^2. \qquad (230)$$

See on väga oluline sõltuvus, mida ventilaatorseadmete kasutamisel tuleb tingimata silmas pidada. Avaldistega (227), (228), (229) ja (230) võib ventilaatori tootlikkuse, rõhu ja võimsuse ümber arvutada, kui projekteeritud väärtused ei ühti kataloogides leiduvate tehaseandmetega.

Pumba mootori võimsuse leidmine. Põllumajanduse elukondlikku ja tootmisalast veevarustust mehhaniseeritakse väga mitmesuguste masinatega: kolb- ja tsentrifugaalpumpadega, suruõhutõstukitega, kopptõstukitega, kett- ning kruvitõstukitega, rootorpumpadega.

Kõige enam on kasutusel kolb- ja tsentrifugaalpumbad. Seoses elektrimootorite kasutuselevõtuga on viimasel ajal hakanud laialdasemalt levima ka tsentrifugaal- ja keerispumbad.

Pumba mootori võimsus arvutatakse järgmise valemiga:

$$P_m = \frac{Q\gamma H}{\eta_p \eta_ü} \text{ W}, \qquad (231)$$

kus Q on pumba tootlikkus m³/s;

γ — vedeliku erikaal N/m³ ($\gamma = \varrho g$, kus ϱ on vedeliku tihedus kg/m³ ja g — raskuskiirendus 9.81 m/s²);

H — üldine arvutuslik pumba survekõrgus m, mis koosneb neljast osakõrgusest:

H_1 — imikõrgus, s. t. veeallika veetaseme ja pumba telje vahemaa m,

H_2 — hüdrostaatiline rõhk ehk tõstekõrgus, s. t. pumba telje ja ja kõige kõrgema veetarbimispunkti vahemaa m,

H_3 — rõhukadu ehk survekõrguse vähenemine imitorustiku, survetorustiku, käänakute, ventiilide ja siibrite takistuse tõttu m,

H_4 — survekõrgus, mis tagab teatud väljavoolukiiruse torust m;

η_p — pumba kasutegur;

$\eta_ü$ — mootori ja pumba vahelise ülekandemehhanismi kasutegur.

Pumba tootlikkuse määravad tootmise vajadused. Vedeliku erikaal või tihedus leitakse käsiraamatutest.

Pumbaga tekitatav vee teoreetiline imikõrgus sõltub õhurõhust ja vee temperatuurist. Tabelis 4 on esitatud õhurõhu sõltuvus asukoha geograafilisest kõrgusest (kõrgus merepinnast).

Tabel 4

Asukoha kõrgus merepinnast m	0	100	200	300	400	500	600	800	1000	2000
Õhurõhk kN/m²	101	100	99	97	96	95	94	92	90	79
m H_2O	10,3	10,2	10,1	9,9	9,8	9,7	9,6	9,4	9,2	8,1

Imikõrgus sõltub vee temperatuurist. Mida kõrgem on vee temperatuur, seda väiksem on teoreetiliselt võimalik imikõrgus (pumba imikambri hõrendusruumi täitva veeauru rõhu suurenemise tõttu). Tabelis 5 on esitatud aururõhk sõltuvalt vee temperatuurist.

Tabel 5

Vee temperatuur °C	0	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Veeauru rõhk kN/m²	0,59	1,18	1,67	2,46	3,14	4,22	7,35	12,75	19,60	31,40	47,00	69,60	101,00
m H_2O	0,06	0,12	0,17	0,24	0,32	0,43	0,75	1,3	2	3,2	4,8	7,1	10,3

Imikõrgus väheneb ka imitorustiku hõõrdekao ja ühenduskohtade ebatiheduse tõttu. Seepärast ei paigutata tavaliselt suuri pumpasid rohkem kui 6...7 m ja väikesi pumpasid rohkem kui 4...5 m veeallika madalaimast veetasemest kõrgemale.

Veevarustuseks vee ammutamisel lahtistest veekogudest (järvedest, jõgedest), mille veetase suurtes piirides kõigub, paigutatakse mõnikord pumbajaamad erilistele parvedele.

Imitoru paigutatakse nii, et vahemaa tema alumise otsa ja veeallika kõige madalama taseme vahel ei oleks väiksem kui 0,5 m. Veeallika põhja ja imitoru alumise otsa vahe peab olema vähemalt 0,5 m.

Imikõrguse piiratuse tõttu tuleb veevarustuseks kaevudest vee ammutamisel kasutada sageli kolbpumpasid. Selline pump paigaldatakse kaevu veetasemest lubatud kõrgusele. Pumba kolbi käitab maapinnal paiknev elektrimootor pika varda kaudu väntmehhanismi abil.

Survekõrguse vähenemine H_3 on tingitud veeosakeste hõõrdumisest vastu toru seinu veetorustiku sirgetes osades, veekeeristest, vee liikumissihi muutumisest käänakutes ja kohalikest veevoolu takistajatest (rõngastest, siibritest, ventiilidest).

Osa survekõrguse vähenemisest (H_3) arvutatakse dünaamilise rõhuna. Näiteks arvutatakse rõhukadu torustiku sirglõikudes Weisbachi järgi järgmise valemiga:

$$h = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \text{ m}, \tag{232}$$

kus L on torustiku pikkus m;
d — toru läbimõõt m;
v — vee kiirus m/s;
λ — vee kiirusest sõltuv tegur (mille väärtused on esitatud tabelis 6).

Tabel 6

v m/s	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	3	6
λ	0,057	0,044	0,036	0,028	0,024	0,021	0,02	0,018

Analoogiliselt arvutatakse ka rõhukadu siibrites, põlvistes ja ventiilides. Teguri λ vastavad väärtused on antud käsiraamatutes.

Vee lubatud kiirus torustikus on:

tsentrifugaalpumpade puhul	0,5 ... 2,5 m/s,
kolbpumpade puhul:	
a) survetorustikus	0,75 ... 1,5 m/s,
b) imitorustikus mitte rohkem kui	0,75 ... 0,8 m/s.

Vee väljavoolu tagav survekõrgus on 6 ... 7 m (mis vastab rõhule umbes 60 ... 70 N/m²).

Tsentrifugaalpumpade kasuteguriks võib ligikaudsel arvutamisel võtta:

madalrõhupumpadel (survekõrgusele $H \leqslant 15$ m, mis vastab rõhule $p \leqslant 150$ N/m² ehk 15 mm H_2O) 0,25 ... 0,6;

keskrõhupumpadel (survekõrgusele $H \leqslant 40$ m, mis vastab rõhule $p \leqslant 400$ N/m² ehk 40 mm H_2O) 0,40 ... 0,70;

kõrgrõhupumpadel (survekõrgusele $H > 40$ m, mis vastab rõhule $p > 400$ N/m² ehk 40 mm H_2O) 0,40 ... 0,80.

Kolbpumpade kasutegur on tsentrifugaalpumpade kasutegurist ligikaudu 10% suurem.

Mõningaid tsentrifugaal- ja kolbpumpade iseärasusi. Tsentrifugaalpumpadel muutuvad labaratta pöörlemissageduse n muutudes tootlikkus Q, survekõrgus H ja tarbimisvõimsus P.

Võime kirjutada:

$$Q \sim n, \tag{233}$$

$$H \sim n^2, \tag{234}$$

$$P \sim n^3. \tag{235}$$

Tsentrifugaalpumba mootori võimsuse arvutamisel tuleb arvestada imikõrguse muutumist töö käigus. Imikõrguse vähenemisega muutub ühtlasi ka tsentrifugaalpumba tootlikkus, mis põhjustab mootori koormuse suurenemist. Liigkoormuse vältimiseks tuleb pumba tootlikkust kas siibri abil või mootori pöörlemissageduse vähendamisega vähendada.

Kolbide ja klappide puudumine tsentrifugaalpumpadel lubab neid kasutada ka mitmesuguste reostatud vedelike (näit. virtsa) pumpamiseks. Tsentrifugaalpumpade suur pöörlemissagedus (16,7 ... 50 p/s ehk 1000 ... ... 3000 p/min) on soodus elektrimootorite kasutamiseks. Pumbaseadmestiku mõõtmed ja mass on väikesed ning töötamine ühtlane ja müratu.

Tsentrifugaalpumba käivitamisel peab survetorustiku ventiil olema suletud. See avatakse alles siis, kui mootor on saavutanud normaalse pöörlemissageduse.

Enne käivitamist tuleb tsentrifugaalpump (imitorustik ja pumbakambrid) tingimata veega täita. Selleks lastakse eri kraani kaudu vett survetorustikust imitorustikku.

Kolbpumpade tootlikkus ja võimsus on võrdelised mootori pöörlemissagedusega.

Et kolvi kiirus ja pumbatava vee kiirus perioodiliselt muutuvad, siis on mootori koormus pulseeriv. Et vältida vee muutlikust kiirusest tingitud suurt inertsjõudu, säilitatakse kolvi liikumissagedus järgmistes piirides:

väikestel pumpadel 0,5 ... 1 käiku sekundis (30 ... 60 käiku minutis),
keskmistel pumpadel 0,83 ... 1,67 käiku sekundis (50 ... 100 käiku minutis),
suurtel pumpadel 1,67 ... 5,00 käiku sekundis (100 ... 300 käiku minutis).

Peale selle paigutatakse imi- ja survetorustikule õhukuplid.

Kolbpumba puudusteks on suur mass, seadmestiku kohmakus, ebaühtlane käik töötamisel ja küllalt kiire klappide kulumine. Pump käivitatakse täissurve all, mis nõuab mootorilt suurt käivitusmomenti.

Kolbpumba käivitamise ja töötamise kestel ei tohi survetorustiku ventiili sulgeda, sest see võib põhjustada torustiku lõhkemist või ülekandemehhanismi ja pumba osade purunemist.

Metallilõikepinkide mootori võimsuse leidmine osutub vajalikuks tööpingi mootori asendamisel tegelikule koormusele vastava mootoriga.

Vahetamine on vajalik sellepärast, et tööpingiga kaasas olev mootor, mis on arvutatud mingite kindlate töötingimuste jaoks, alati ei sobi nendele tingimustele, milles teda tegelikult kasutada tuleb.

Iseloomulikeks näideteks selles suhtes võivad olla masinate ja traktorite remonditöökojad. Töökodades määravad tööpinkide koormuse mitmesugused traktorite ja põllutöömasinate remontimisel esinevad tööd, mille puhul lõikesügavust piiravad remontimisel lubatud mõõtmed, ettenihet aga puhastöötlemise nõuded. Remontimisel on lõigatava laastu ristlõige samade detailide valmistamisel lõigatavast laastust märksa väiksem. Seetõttu erinevadki sovhoosi- ja kolhoositöökodade metallilõikepinkide töötingimused metallitööstuses esinevatest töötingimustest. On otstarbekas valida mootori võimsus vastavalt nendele töödele, mida antud tööpingiga hakatakse tegema. On olemas mitmeid meetodeid metallilõikepingi mootori vajaliku võimsuse leidmiseks. Kõige enam on neist praegusel ajal levinud: 1) tööpingi tarbimisvõimsuse katseline leidmine, 2) kogemuslike valemitega arvutamine.

Katseliselt leitakse tööpingi tarbimisvõimsus mõõteriistade (mõõtesuportide, dünamomeetrite, elektritensomeetrite) näitude järgi. See moodus on kõige usaldatavam, kuid mitte alati rakendatav, sest see nõuab vastavat olukorda ning keerukaid ja küllaltki kalleid riistu. Et aga see meetod on oma olemuselt ja saadud andmete töötlemise mõttes küllalt lihtne, siis me sellel siin ei peatu. Käsitleme mõningaid arvutuslikke viise.

Põhimõtteliselt määravad tööpingi võimsuse kaks põhisuurust — lõikejõud ja lõikekiirus. Seepärast võib lõikevõimsuse arvutada järgmiselt:

$$P_l = F_l v_l \text{ W}, \tag{236}$$

kus F_l on lõiketerale mõjuv jõud N;

v_l — lõikekiirus m/s.

See valem on rakendatav nii pöörleva kui ka edasi-tagasi-liikumisega tööpinkide kohta.

Mootori võimsus leitakse lõiketerale antava võimsuse P_l järgi, mis jagatakse lõiketera ja mootori vahelise ülekandemehhanismi kasuteguriga:

$$P_m = \frac{P_l}{\eta} \text{ W}. \tag{237}$$

Tänapäeva pöörlevliikumisega tööpinkide (treipinkide, freespinkide, lihvimispinkide) kasutegur $\eta = 0{,}7 \ldots 0{,}85$ ja edasi-tagasi-liikumisega tööpinkidel (piki- ja püsthöövelpinkidel, raiumispinkidel, augulöömispinkidel) $\eta = 0{,}4 \ldots 0{,}5$. Vanadel tööpinkidel ja mittetäieliku koormuse korral võib kasutegur olla väiksem.

Peale lõikevõimsuse tuleb arvestada ka ettenihkevõimsust, s. t. võimsust, mida on vaja näiteks supordi nihutamiseks. Tegelikult aga ettenihkele kuluvat võimsust ei arvestata, sest väikeste ettenihkekiiruste tõttu on see väga väike.

Näitena käsitleme trei- ja puurpingi võimsuse leidmist. Plaan- ja karusselltreipinkide, teritus-, frees-, lihvimis-, höövel-, raiumis- ja augulöömispinkide lõiketakistus arvutatakse samal meetodil.

Treipingi mootori võimsuse leidmine. Lõikejõud (surve lõiketerale) sõltub paljudest teguritest, millest tegeliku arvutuse lihtsustamiseks arves-

tatakse ainult töödeldava materjali omadusi, lõiketera omadusi, lõikesügavust ja ettenihet.

Ajakohaste uurimuste andmetel soovitatakse arvutada lõikejõudu valemiga

$$F_l = 9{,}81 C_p t^{x_p} s^{y_p} \text{ N}, \tag{238}$$

kus C_p on tegur;

x_p ja y_p — astmenäitajad, mis sõltuvad töödeldava materjali omadustest, lõikesügavusest, ettenihkest ja lõiketera omadustest;

t — lõikesügavus mm;

s — ettenihe spindli ühe pöörde kohta mm.

S_p, x_p ja y_p väärtused on antud metallitöötlemise käsiraamatutes.

Sobivaim lõikekiirus lõiketera ökonoomse vastupidavuse seisukohalt leitakse valemiga

$$v_l = \frac{C_v}{60 t^{x_v} s^{y_v}} \text{ m/s}, \tag{239}$$

kus C_v on tegur, mis sõltub töödeldava materjali omadustest;

x_v ja y_v — astmenäitajad, mis sõltuvad töödeldava materjali omadustest antud lõiketera ettenihke s ja lõikesügavuse t puhul.

C_v, x_v ja y_v väärtused saadakse tabelitest.

Lõikejõu F_l ja lõikekiiruse v_l järgi leitakse lõikevõimsus

$$P_l = F_l v_l \text{ W} \tag{240}$$

ja elektrimootori võimsus

$$P_m = \frac{P_l}{\eta} \text{ W}. \tag{241}$$

Niisiis, mootori võimsuse arvutamiseks on vaja teada lõikesügavust ja ettenihet. Teades lõikesügavust ja ettenihet, töödeldava materjali omadusi ja lõiketera omadusi, võime leida lõikekiiruse lubatud piirväärtuse.

Arvutus tehakse tööpingi ja elektriseadmete maksimaalse koormamise kohta. Kui tööpinki ei ole võimalik täielikult koormata, tuleb kasutada väiksema võimsusega elektrimootorit, sest alakoormatud mootoril on väike kasutegur ja halb $\cos \varphi$.

Puurpingi mootori võimsuse leidmine. Analoogiliselt treipingiga määratakse ka puurpingi lõikevõimsus valemitega

$$P_p = F_p v_p \text{ W} \tag{242}$$

või

$$P_p = M_p 2\pi n \text{ W}, \tag{243}$$

kus F_p on lõikejõud N;

M_p — puurile mõjuv pöördemoment Nm;

v_p — puuri joonkiirus, mis saadakse seosest $v_p = \pi dn$ m/s (kus d on puuri läbimõõt ja n — puuri pöörlemissagedus p/s).

Puuri pöörlemissagedus

$$n = \frac{v_p}{\pi d} \text{ p/s}. \tag{244}$$

Mootori võimsus

$$P_m = \frac{P_p}{\eta} \text{ W},$$

kus η on puurpingi kasutegur, mille väärtus $\eta = 0{,}7 \ldots 0{,}85$.

Puuri pöördemoment sõltuvalt töödeldavast materjalist, puuritava augu läbimõõdust d ja ettenihkest ühe pöörde kohta s arvutatakse Riikliku Masinaehitusliku Projekteerimise Instituudi (Гипромаш) katselise valemiga

$$M_p = 9{,}81 C_m d^{x_m} s^{y_m} \cdot 10^{-3} \text{ Nm}, \tag{245}$$

kus C_m on tegur;

x_m ja y_m — astmenäitajad, mis sõltuvad töödeldava materjali omadustest, puuri materjalist ja mõõtmetest; C_m, x_m, y_m ning kõigi edaspidi selles lõigus esinevate tegurite ja konstantide väärtused leitakse metallitöötlemise ja masinaehituse käsiraamatutest;

d — puuri läbimõõt mm;

s — ettenihe puuri ühe pöörde kohta mm.

Vastava puurimisel tekkiva lõikejõu F_p võime leida momendi avaldisest

$$F_p = \frac{2M_p}{d} \text{ N}, \tag{246}$$

kus M_p on Nm-tes,

d — m-tes.

Ettenihe s leitakse puuri vastupidavust ja puuritava ava läbimõõtu arvestades (Гипромаш) valemiga

$$s = C_s d^{\ x_s} \text{ mm}, \tag{247}$$

kus C_s ja x_s on konstandid, mis sõltuvad puuri vastupidavusest, läbimõõdust ja töödeldava materjali omadustest.

Lõikekiirus v_p on keerukas sõltuvuses puuri omadustest, läbimõõdust ning ettenihkest ja töödeldava materjali omadustest.

Valemi järgi (Гипромаш)

$$v_p = \frac{C_v d^{x_v}}{60 T^m s^{y_v}} \text{ m/s}, \tag{248}$$

kus C_v on tegur;

x_v ja y_v — astmenäitajad, mis sõltuvad töödeldava materjali füüsikalis-mehaanilistest omadustest;

d — läbimõõt mm;

s — ettenihe mm;

T — puuri püsivus masinaaja minutites;

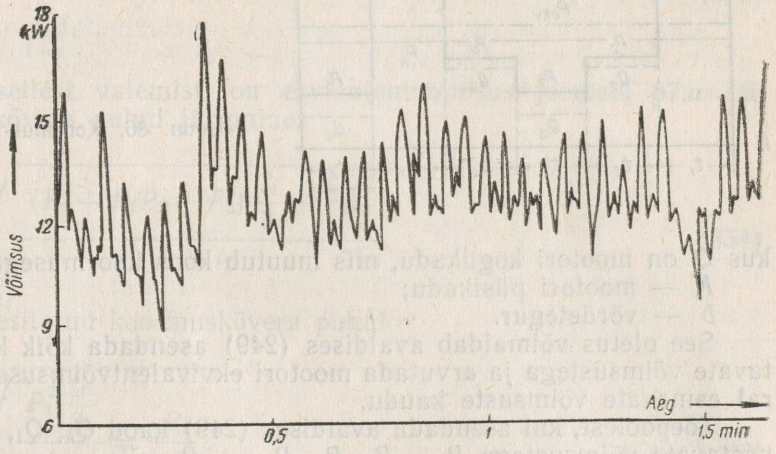
m — astmenäitaja, mis on kõigi materjalide kohta 0,167.

Ettenihkejõudu puurpingi võimsuse leidmisel tavaliselt ei arvestata.

Peale käsitletud viiside esitatakse metallilõikepinkide mootorite võimsuse leidmiseks kirjanduses veel teisi viise, näiteks tööpingi võimsuse leidmine sõltuvalt 1) tema peamistest mõõtmetest (tsentrite kõrgusest, suurimast töödeldavast läbimõõdust), 2) ajaühikus lõigatava laastu ruumalast või massist. Et need mõlemad viisid on vananenud, siis meie neid ei käsitle.

§ 3. Kestev muutuvkoormus

Ekvivalent- ehk ruutkeskmise võimsuse meetod. Kestva, kuid ajas muutuva koormusega masinate ajami mootori võimsuse arvutamiseks on vaja erisuguseid meetodeid. Kestva muutuvkoormuse näitena on esitatud viljapeksumasina mootori koormuskõver (joon. 85).



Joon. 85. Viljapeksumasina mootori koormuskõver

Elektrimootori valimine koormuse maksimumide ja miinimumide järgi ei ole õige. Mootori võimsuse valikul koormuskõvera ordinaatide keskväärtuse järgi võib vahel tekkida tunduv viga. See on seletatav asjaoluga, et võimsuse ordinaatide keskväärtus ei arvesta mootoris esinevate kadude ruutsõltuvust mähiseid läbivast voolust.

Soojenemine on peamine tegur, mis määrab mootori võimsuse. Seepärast oleks kõige õigem valida mootor antud koormuskõverale vastava keskmise kao järgi, mis määrab ära tegeliku ületemperatuuri: $\vartheta_p = Q_k/A$.

Täpsel arvutamisel nii talitataksegi. Võetakse koormuskõver $P = f(t)$ (joon. 86), mille järgi kujundatakse teises mõõtvahekorras kaokõver $Q = \varphi(t)$. Eeldatakse, et mootori osade küllalt suure soojusliku inertsi tõttu määrab soojenemise kadude keskväärtus ehk keskmine kadu:

$$Q_k = \frac{Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + Q_3 t_3 + \ldots + Q_6 t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_6}. \qquad (249)$$

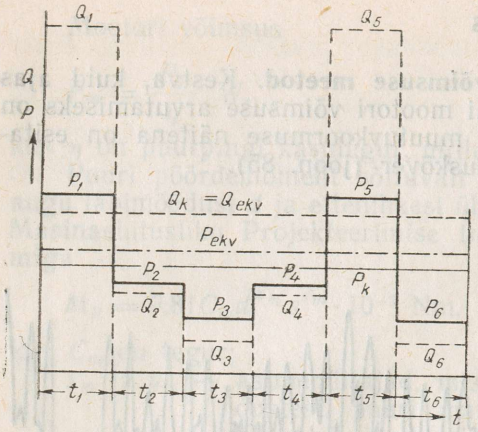
Sel juhul osutub keskmine kadu Q_k koormuskõveral kujutatud tegelike kadudega ekvivalentseks (samaväärseks): $Q_k = Q_{ekv}$.

Keskmise kao järgi võibki valida vastava mootori, mis antud koormuskõvera järgi kestvalt töötades soojenemise mõttes lubatud norme ei ületa.

See arvutusmeetod on aga vaevanõudev ja eriti ebamugav sellise mootori valikul, mille kohta ei ole teada kadude jaotuse iseloomu.

Tegelikult rakendatakse vähem täpset, kuid mugavamat ekvivalent- ehk ruutkeskmise võimsuse meetodit. See meetod põhineb eeldusel, et

$$Q = K + bP^2. \qquad (250)$$



Joon. 86. Koormus- ja kaokõver

kus Q on mootori kogukadu, mis muutub koos koormusega P;
K — mootori püsikadu;
b — võrdetegur.

See oletus võimaldab avaldises (249) asendada kõik kaod neile vastavate võimsustega ja arvutada mootori ekvivalentvõimsuse koormuskõveral esinevate võimsuste kaudu.

Tõepoolest, kui asendada avaldises (249) kaod Q_k, Q_1, Q_2, $Q_3 \ldots$, Q_6 vastavate võimsustega P_{ekv}, P_1, P_2, $P_3 \ldots$, P_6, siis

$$Q_k = Q_{ekv} = K + bP_{ekv} =$$

$$= \frac{(K + bP_1^2)t_1 + (K + bP_2^2)t_2 + \ldots + (K + bP_6)t_6}{t_1 + t_2 + \ldots + t_6}.$$

Siit saame pärast sulgude avamist ja vajalikke teisendusi:

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + \ldots + P_6^2 t_6}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_6}} \qquad (251)$$

või üldkujul:

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}} \text{ W}.$$

Avaldisega (251) või (252) arvutatavat võimsust nimetatakse *ekvivalent- ehk ruutkeskmiseks võimsuseks.*

Nagu näha, on P_{ekv} *selline konstantne kestev võimsus, mille puhul mootoris tekkiv kadu on väärtuselt võrdne antud koormuskõverale vastava muutuvkoormuse puhul tekkiva keskmise kaoga.*

Mootor tuleb valida niisuguse nimivõimsusega, mis on leitud ekvivalentvõimsusele P_{ekv} kõige lähem. Selliselt valitud mootoril liigsoojenemist ei esine, sest temas nimivõimsusel tekkiv kadu on võrdne koormuskõvera keskmise kaoga.

Valem (251) kehtib ekvivalentvõimsuse arvutamiseks sellise koormuskõvera $P = f(t)$ korral, mis koosneb abstsissteljega rööbitistest sirglõikudest.

Üldisemal juhul arvutatakse ekvivalentvõimsus valemiga

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} t_i} \sum^{n} \int_{0}^{t} P_i^2 \, dt} \text{ W}. \tag{253}$$

Lähtudes sellest valemist, on ekvivalentvõimsus joonisel 87,*a* esitatud koormuskõvera puhul järgmine:

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{(P_1^2 + P_1P_2 + P_2^2)\frac{t_1}{3} + P_2^2 t_2}{t_1 + t_2}}. \tag{254}$$

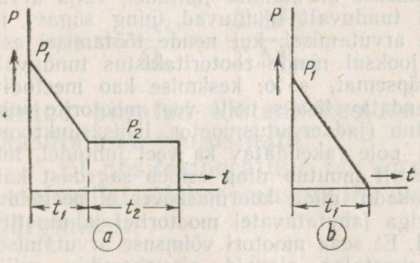
Joonisel 87, *b* esitatud koormuskõvera puhul

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{P_1^2 \frac{t_1}{3}}{t_1}} = \frac{P_1}{\sqrt{3}}. \tag{255}$$

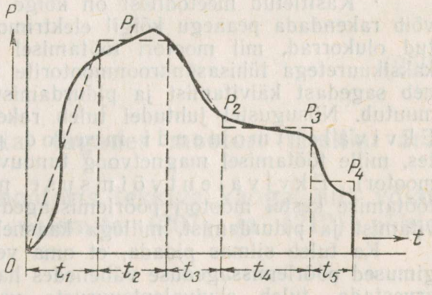
Korrapäratu kujuga koormuskõvera (joon. 88) võib asendada sirglõikudest koosneva koormuskõveraga, mille ruutkeskmine arvutatakse avaldistega (251), (252), (254) või (255).

Ekvivalentvõimsuse meetodil valitud elektrimootorit tuleb kontrollida ülekoormatavusele. Kui selgub, et P_{ekv} järgi valitud mootor ei ole võimeline koormuskõveraga väljendatud üksikuid ülekoormusi ületama, tuleb valida nimivõimsuselt järgmine, suurem mootor.

Tegelikes oludes võetakse väga sageli koormuskõverad üles dünamomeetri või elektrotensomeetriga. Koormuskõvera ordinaadid, mis on teatud mõõtkavas, kujutavad endast siis momente. Enamiku küllalt jäiga tunnusjoonega mootoreid (rööpergutus-, asünkroon- või sünkroonmootoreid) sisaldavate elektriajamite võimsus ja moment on teineteisega võrdelised: $P = M\omega$, kus $\omega = \text{const}$. Seega võib ekvivalentvõimsust arvutada ka ekvivalentmomendi kaudu:



Joon. 87. Koormuskõverad



Joon. 88. Korrapäratu kujuga koormuskõver

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \ldots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}}. \qquad (256)$$

Erandiks on jada- ja liitergutusmootorid, mille kohta ekvivalentmomendi meetod ei ole rakendatav selle tõttu, et nende kiirus muutub tugevasti ja ka magnetvoog on muutuv.

Iga liiki mootorite puhul saadakse ekvivalentvõimsuse arvutamisel täpsemaid tulemusi ruutkeskmise ehk ekvivalentvoolu[1] põhjal, mille võib arvutada valemiga

$$I_{ekv} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \ldots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}}. \qquad (257)$$

Üleminek ekvivalentvoolult I_{ekv} ekvivalentvõimsusele P_{ekv} on lihtne, sest enamikul juhtudel võime mootori klemmipinge lugeda töötamise kestel muutumatuks.

§ 4. Elektrimootori võimsuse leidmine lühiajalise talitluse puhul

Lühiajaliseks talitluseks määratud elektrimootorite tellimisel tuleb anda võimsus ja töötamiskestus (15, 30, 60 või 90 minutit).

Lühiajalise talitluse jaoks arvutatakse elektrimootorid teisiti kui kestva talitluse jaoks. Nende mootorisarjade arvutamisel võetakse aluseks isesugune püsi- ja muutuvkao suhe, nende mähised arvutatakse teisiti ja neile tagatakse suur mehaaniline ülekoormatavus.

Koormuskõver lühiajalise talitluse kohta (joon. 89) hõlmab käivituskestust t_1 ja töötamiskestust t_2 lühiajalisel püsikoormusel. Mootori võimsus arvutatakse kestuse $t_1 + t_2$ ruutkeskmisena — ekvivalentvõimsusena:

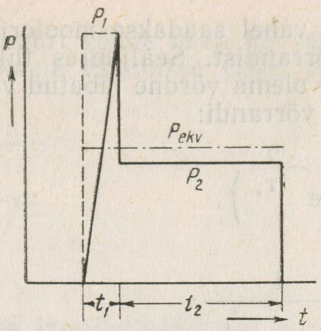
$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{t_1 + t_2}}. \qquad (258)$$

---

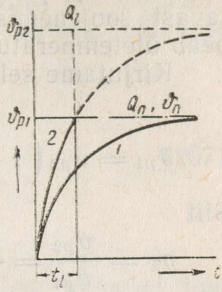
[1] Käsitletud meetoditest on kõige täpsem ekvivalentvoolu meetod. Seda võib rakendada peaaegu kõigil elektrimootori võimsuse arvutamise juhtudel, välja arvatud olukorrad, mil mootori töötamisel püsikaod tunduvalt muutuvad, ning sügav- ja kaksikuuretega lühisasünkroonmootorite võimsuse arvutamisel, kui nende töötamisel esineb sagedast käivitamist ja pidurdamist, mille jooksul nende rootoritakistus tunduvalt muutub. Niisugustel juhtudel tuleb rakendada täpsemat, s. o. keskmise kao meetodit Ekvivalentmomendi meetod pole rakendatav lisaks neile veel mootorite suhtes, mille töötamisel magnetvoog tunduvalt muutub (jadaergutusmootor, lühisasünkroonmootor). Ekvivalentvõimsuse meetod pole rakendatav ka veel juhtudel, mil töötamise kestel mootori pöörlemissagedus tunduvalt muutub ning esineb sagedast käivitamist ja pidurdamist, millega kaasneb energiakadu, mida koormuskõver ei peegelda.

Ka tuleb silmas pidada, et oma ventilaatoriga jahutatavatel mootoritel jahutustingimused pöörlemissageduse vähenedes halvenevad. Et seda mootori võimsuse arvutamisel arvestada, tuleb ekvivalentsuuruste valemeis nimetajas olevaid ajavahemikke, mille jooksul mootor seisab, korrutada teguriga $\beta = 0{,}5$ ning käivitus- ja pidurduskestusi teguriga $\alpha = 0{,}75$. *Tõlk.*

Joon. 89. Koormuskõver lühiajalisel talitlusel



Joon. 90. Elektrimootori soojenemiskõverad lühiajalisel talitlusel



Avaldisega (258) väljendatud ruutkeskmine võimsus on saadud ajavahemikul t_l arendatava tingliku käivitusvõimsuse P_l mõju arvestades. Tinglik käivitusvõimsus on saadud järgmiselt: $P_l = k_i P_n$, kus $k_i = I_k/I_n$.

Selline lähenemine on õige, sest kuigi võimsus ülesjooksu vältel pidevalt kasvab nullist kuni väärtuseni P_l (mis joonisel on kujutatud kriipsjoonega), on mootori mähiseid läbiv vool ja sellest tingitud soojenemine siiski maksimaalse väärtusega. Seega täpsustab koormuskõveras tehtud muudatus soojenemise tegelikku olukorda mootori käivituse jooksul.

Selline muudatus koormuskõveras tuleb teha nii käivitusele kui ka elektrilisele pidurdusele vastava ajavahemiku osas, mil elektrimootori võimsus ja vool ei ole teineteisega võrdelised. Esitatud meetodit võib rakendada suurt viga tegemata ainult neil juhtudel, mil elektrimootori soojenemise ajakonstant T_s on lühiajalise talitluse töötamiskestusest t_l märgatavalt (3 ... 4 korda) väiksem. Kui see tingimus ei ole täidetud, tuleb arvutada suhet t_l/T_s arvestades.

Viimasel juhul tekkivad sõltuvused leitakse järgmistest kaalutlustest lähtudes. Joonisel 90 vastab kõver *1* elektrimootori soojenemisele kestval nimikoormusel $P_k = P_n$ kao Q_n puhul. Sellises olukorras töötamisel saavutab elektrimootori ületemperatuur püsiväärtuse $\vartheta_{p1} = \vartheta_n$ aja $t = (3 \ldots 4) T_s$ möödumisel.

Kui panna kestvaks talitluseks arvutatud mootor tööle lühiajaliselt sama võimsusega nagu kestval talitluselgi, kuid töötamiskestusega t_l, ei tõuse tema temperatuur väärtuseni $\vartheta_{p1} = \vartheta_n$ ja mootor töötab soojuslikult alakoormatuna.

Lühiajalises talitluses võib mootorit tema täielikuks ärakasutamiseks koormata suurema võimsusega kui P_l, millele vastab ka suurem kadu Q_l. Seejuures soojeneb mootor kõvera *2* järgi, tema ületemperatuur aga saavutab väärtuse ϑ_{p1} aja t_l möödumisel. Ülesanne taandub sellele, et leida lubatav *soojuslik ülekoormustegur*

$$p_T = \frac{Q_l}{Q_n} = \frac{\Sigma \Delta P_l}{\Sigma \Delta P_n} \tag{259}$$

antud piiratud töötamiskestuse t_l kohta, tagades mootori täieliku ärakasutamise soojuslikult.

Et püsitemperatuur on võrdeline mootoris tekkiva kaoga, siis võime soojusliku ülekoormusteguri avaldada valemite (207) ja (212) põhjal järgmiselt:

$$p_T = \frac{\vartheta_{p2}}{\vartheta_{p1}}. \tag{260}$$

Seos ϑ_{p1} ja ϑ_{p2} vahel saadakse mootori lühiajalisele talitlusele vastavast soojenemisvõrrandist. Sealjuures tuleb arvestada, et kui $t = t_l$, peab ületemperatuur olema võrdne lubatud väärtusega, s. t. $\vartheta = \vartheta_n = \vartheta_{p1}$.

Kirjutame selle võrrandi:

$$\vartheta_{p1} = \vartheta_{p2}\left(1 - e^{-\frac{t_l}{T_s}}\right). \tag{261}$$

Siit

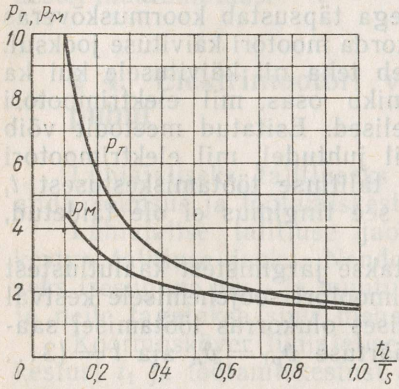
$$p_T = \frac{\vartheta_{p2}}{\vartheta_{p1}} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_l}{T_s}}}. \tag{262}$$

Soojusliku ülekoormusteguri p_T ja suhte t_l/T_s vahelise analüütilise sõltuvuse (262) graafiline kujutis on esitatud joonisel 91.

Avaldisest (262) võime tuletada valemi

$$t_l = T_s \ln \frac{p_T}{p_T - 1}, \tag{263}$$

mis võimaldab leida töötamiskestuse t_l lühiajalisel talitlusel, kui on teada mootori soojuslik ülekoormustegur p_T.



Joon. 91. Soojusliku ja mehaanilise ülekoormusteguri sõltuvus töötamiskestusest

Tegelikult pakub lühiajaliseks talitluseks määratud mootori võimsuse arvutamisel suurt huvi nn. *mehaaniline ülekoormustegur* p_M, mis saadakse suhtena

$$p_M = \frac{P_l}{P_n}, \tag{264}$$

kus P_l on niinimetatud lühiajaline võimsus ehk mootori lühiajalisel talitlusel soojenemistingimustega lubatud võimsus;

P_n — mootori nimivõimsus, mida ta arendab kestval töötamisel.

Et saada mehaanilise ülekoormuseteguri kohta täpsemat ja tegelikuks rakendamiseks mugavamat avaldist, kirjutame võrrandi (259), arvestades püsi- ja muutuvkadu ning eeldades, et need on võrdelised võimsuse ruuduga, järgmisel kujul:

$$p_T = \frac{\Delta P_c + \Delta P_v \left(\frac{P_l}{P_n}\right)^2}{\Delta P_c + \Delta P_v} = \frac{\alpha + p_M^2}{\alpha + 1}, \tag{265}$$

kus $\alpha = \Delta P_c / \Delta P_v$ on kaotegur, mis väljendab püsikao ja muutuvkao suhet nimikoormusel.

Siit

$$p_M = \sqrt{p_T(\alpha + 1) - \alpha}. \tag{266}$$

Kui on teada soojuslik ülekoormustegur ja kaotegur, saame avaldisega (266) arvutada mehaanilise ülekoormusteguri p_m.

Mehaanilise ülekoormusteguri võime leida ka vahetult, kui on teada α ja suhe t_l/T_s ning kui asetame valemisse (266) p_T väärtuse valemist (262):

$$p_M = \sqrt{\frac{\alpha + 1}{1 - e^{-\frac{t_l}{T_s}}} - \alpha}. \qquad (267)$$

Avaldise (267) graafiline kujutis väärtusel $\alpha = 1$ on esitatud joonisel 91.

Mõnikord piirdutakse ülesande ligikaudse lahendusega. Sel juhul jäetakse kõrvale püsikaod ja võetakse $\alpha = 0$. Siis, nagu võib näha avaldistest (266) ja (267), kehtib mehaanilise ja soojusliku ülekoormusteguri vahel lihtne seos

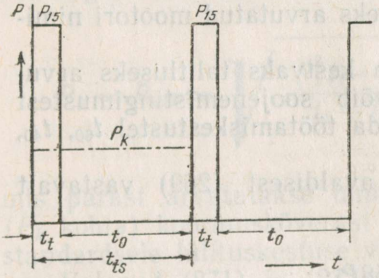
$$p_M = \sqrt{p_T}. \qquad (268)$$

§ 5. Elektrimootori võimsuse leidmine vaheajalise talitluse puhul

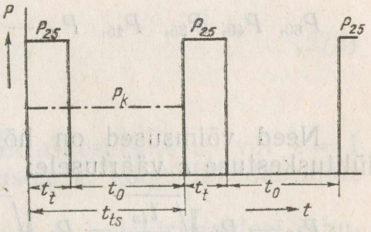
Vaheajalisel talitlusel vaheldub elektrimootori töötamine seisakutega või mootori tühijooksuga.

Joonistel 92, 93 ja 94 on kujutatud koormuskõverad vaheajalisel talitlusel, kui suhteline lülituskestus ΠB on 15, 25 ja 40%.

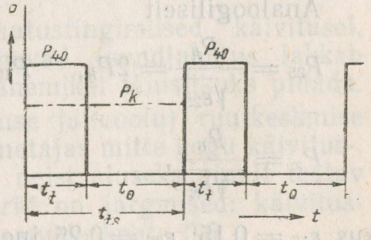
Tegelikes koormuskõverates sellist rütmilist töötamise ja vaheaegade vaheldumist ei esine. Seetõttu pole suhtelist lülituskestust ΠB või ε üheainsa talitlustsükli põhjal võimalik leida, vaid tuleb arvestada talitlusolukorda pikema aja jooksul.



Joon. 92. Koormuskõver vaheajalisel talitlusel, kui $\Pi B = 15\%$



Joon. 93. Koormuskõver vaheajalisel talitlusel, kui $\Pi B = 25\%$



Joon. 94. Koormuskõver vaheajalisel talitlusel, kui $\Pi B = 40\%$

Siis

$$\varepsilon = \frac{\Sigma t_t}{\Sigma t_t + \Sigma t_0}$$

või

$$\text{ПВ} = \frac{\Sigma t_t}{\Sigma t_t + \Sigma t_0} \cdot 100\%.$$

Et vaheajalisel talitlusel elektrimootor perioodiliselt jahtub, võib kestvaks talitluseks arvutatud elektrimootorit ülekuumenemise ohuta koormata passis antud nimivõimsusest rohkem.

Teoreetilised arvutused ja kogemused tõendavad, et sageli on kestvale talitlusele arvutatud mootorit nimivõimsusega P_k tõepoolest võimalik vaheajalises talitluses tööle rakendada ja koormata teda $\varepsilon = 0{,}25$ puhul isegi võimsusega $2P_k$, ilma et mähiste ülekuumenemist oleks karta. Kui $\varepsilon = 0{,}6$, $\varepsilon = 0{,}4$ ja $\varepsilon = 0{,}15$, võib koormus olla vastavalt $1{,}29P_k$, $1{,}58P_k$ ja $2{,}58P_k$ (kui viimane arv vastab elektrimootori kataloogis ettenähtud ülekoormatavusele).

Selline võimsuse muutumine on arvutatav eeldusel, et elektrimootori mähiste soojenemise määrab peamiselt muutuvkadu ($I^2R = bP^2$). Sellest eeldusest lähtudes koostatakse võrdus, mis on elektrimootori võimsuse ühelt suhteliselt lülituskestuselt teisele ümberarvutamise aluseks:

$$bP_k^2 t_{ts} = bP_{60}^2 t_{60} = bP_{40}^2 t_{40} = bP_{25}^2 t_{25} = bP_{15}^2 t_{15} = bP_x t_x, \qquad (269)$$

kus t_{60}, t_{40}, t_{25} ja t_{15} on standardsed töötamiskestused tsükli kestel (standardse 10 min ehk 600 s kestusega tsükli puhul vastavalt 360, 240, 150 ja 90 s ehk 6, 4, 2,5 ja 1,5 minutit);

$t_{ts} = 600$ s (10 min) — talitlustsükli nimikestus, mis võetakse aluseks tehases vaheajaliseks talitluseks määratud mootorite katsetamisel;

t_x — mingi standardsest töötamiskestusest erinev töötamiskestus;

P_k — kestvaks talitluseks arvutatud mootori nimivõimsus;

P_{60}, P_{40}, P_{25}, P_{15}, P_x — võimsused, mida kestvaks talitluseks arvutatud mootor võib soojenemistingimustest lähtudes arendada töötamiskestustel t_{60}, t_{40}, t_{25}, t_{15} ja t_x.

Need võimsused on hõlpsasti leitavad avaldisest (269) vastavalt lülituskestuse ε väärtusele:

$$P_{40} = P_k \sqrt{\frac{t_{ts}}{t_{40}}} = P_k \sqrt{\frac{1}{0{,}4}} = \frac{P_k}{\sqrt{0{,}4}} = 1{,}58P_k.$$

Analoogiliselt

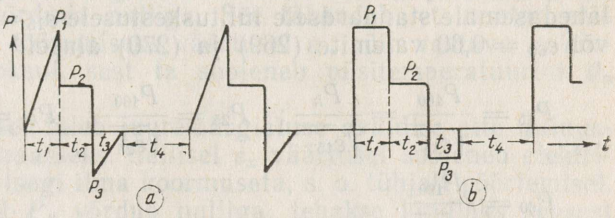
$$P_{25} = \frac{P_k}{\sqrt{\varepsilon_{25}}} = 2P_k; \quad P_{15} = \frac{P_k}{\sqrt{\varepsilon_{15}}} = 2{,}58P_k; \quad P_{60} = \frac{P_k}{\sqrt{\varepsilon_{60}}} = 1{,}29P_k;$$

$$P_x = \frac{P_k}{\sqrt{\varepsilon_x}}, \qquad (270)$$

kus $\varepsilon_{15} = 0{,}15$; $\varepsilon_{25} = 0{,}25$ jne. on suhteline lülitatuskestus.

Üldiselt püütakse vältida kestvaks talitluseks arvutatud elektrimootorite kasutamist vaheajalises talitluses, ja toodetakse selleks erisarjadesse kuuluvaid elektrimootoreid, mida nimetatakse ka kraanamootoriteks. Viimastel on oma eripärasused: suur käivitus- ja vääratusmoment, tugevam võll ja tugevamad laagrid, suurem õhupilu (asünkroonmootoritel) ning veidi suurem püsikadu.

Kraanamootoreid iseloomustab teatud võimsus, mida nad soojenemise mõttes on antud ε puhul võimelised arendama.



Joon. 95. Koormuskõver vaheajalisel talitlusel

Joonisel 95 on kujutatud kaks tüüpilist vaheajalise talitluse koormuskõverat. Koormuskõver *a* on selline, nagu ta vattmeetri abil või analüütiliselt saadakse; koormuskõver *b* vastab samale talitlusolukorrale, kuid on esitatud muudetud kujul: eeldatakse, et võimsus on käivituskestuse t_1 ja pidurduskestuse t_3 vältel püsiv ning võrdne neis olukordades esineva maksimaalväärtusega.

Elektrimootori vajalik võimsus leitakse koormuskõvera põhjal kas töötamiskestuse ruutkeskmisena (arvestamata vaheajakestust):

$$P_x = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} \tag{271}$$

või kogu tsükli kestuse ruutkeskmisena (arvestades ka vaheajakestusi):

$$P_k = P_{100} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}, \tag{272}$$

mis pärast arvutatakse ümber suhteliselt lülituskestuselt ε_x või $\varepsilon = 1$ (P_k kohta) koormuskõverast saadavale väärtusele ε_x kõige lähedasemale standardsele lülituskestuse väärtusele ε_x.

Valemid (271) ja (272) on õiged sel juhul, kui elektrimootori jahutus ei muutu (kui on olemas sõltumatu jahutus või sundjahutus üldse puudub).

Et aga enamiku elektrimootorite jahutustingimused käivitusel, pidurdusel ja vaheaegadel tunduvalt halvenevad (sundjahutus lakkab või nõrgeneb), siis ei saa jahutust neil ajavahemikel täiuslikuks pidada.

Seepärast arvestatakse tegelikul (võimsuse ja voolu) ruutkeskmise väärtuse leidmisel valemite (271) ja (272) nimetajas mitte kogu käivitus-, pidurdus- ning vaheajakestust, vaid võetakse neist aluseks ainult teatav osa. Selleks kasutatavad kogemuslikud tegurid on järgmised: käivitus- ja pidurduskestuste kohta 0,75 ning vaheajakestuste kohta 0,5.

Niisiis kujuneb ruutkeskmise ehk ekvivalentvõimsuse valem talitlustsükli kohta järgmiseks:

$$P_k = P_{100} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{0{,}75t_1 + t_2 + 0{,}75t_3 + 0{,}5t_4}}. \qquad (273)$$

Kogu talitlustsüklile vastav ruutkeskmine võimsus P_k või P_{100} arvutatakse ümber koormuskõverast leitava suhtelise lülituskestusega ε_x kõige lähedasemale standardsele lülituskestusele $\varepsilon_{15} = 0{,}15$, $\varepsilon_{25} = 0{,}25$, $\varepsilon_{40} = 0{,}40$ või $\varepsilon_{60} = 0{,}60$ valemite (269) ja (270) alusel:

$$P_{15} = \frac{P_{100}}{\sqrt{\varepsilon_{15}}} = \frac{P_k}{\sqrt{\varepsilon_{15}}}; \quad P_{25} = \frac{P_{100}}{\sqrt{\varepsilon_{25}}}; \quad P_{40} = \frac{P_{100}}{\sqrt{\varepsilon_{40}}};$$

$$P_{60} = \frac{P_{100}}{\sqrt{\varepsilon_{60}}}. \qquad (274)$$

Võimsuse ümberarvutamine koormuskõverast leitud suhteliselt lülituskestuselt ε_x mistahes standardsele lülituskestusele toimub samade valemitega:

$$P_{12} = P_x \sqrt{\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{15}}}; \quad P_{25} = P_x \sqrt{\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{25}}}; \quad P_{40} = P_x \sqrt{\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{40}}};$$

$$P_{60} = P_x \sqrt{\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{60}}}. \qquad (275)$$

Seejuures on soovitatav arvutada mittestandardse ε_x korral võimsus ümber lähimale suuremale standardsele lülituskestusele ε, välja arvatud siis, kui tegelik suhteline lülituskestus $\varepsilon_x > 0{,}6$ või $\varepsilon_x < 0{,}1$. Kui $\varepsilon_x > 0{,}6 \ldots 0{,}7$, valitakse tavaliselt kestvaks talitluseks arvutatud elektrimootor, kui aga $\varepsilon_x < 0{,}1$, kasutatakse lühiajaliseks talitluseks määratud elektrimootoreid.

Võimsuse täpsemal ümberarvutamisel mistahes mittestandardselt ε_x väärtuselt standardsele, tuleb arvestada nii püsi- kui ka muutuvkadu (pidades silmas kaotegurit α).

Tähistame koormuskõvera põhjal töötamiskestuse kohta leitud ruutkeskmise võimsuse P_x ja vastava suhtelise lülituskestuse ε_x, lähima standardse suhtelise lülituskestuse aga ε_n ja sellele standardsele ε_n väärtusele vastava otsitava võimsuse P_n. Siis $P_x = xP_n$ ja $P_n = P_x/x$.

Suuruse x võime leida, lähtudes järgmisest talitlustsüklil vältel tekkivate kadude võrdsuse tingimusest:

$$(\Delta P_c + \Delta P_v x^2)\varepsilon_x = (\Delta P_c + \Delta P_v)\varepsilon_n. \qquad (276)$$

Asetanud avaldisse (276) suuruse $\alpha = \Delta P_c/P_v$, saame:

$(\alpha + x^2)\varepsilon_x = (\alpha + 1)\varepsilon_n$. Siit

$$x = \sqrt{\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_x} + \alpha\left(\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_x} - 1\right)} \qquad (277)$$

ja

$$P_x = P_n \sqrt{\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_x} + \alpha\left(\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_x} - 1\right)}. \qquad (278)$$

Võrrandist (278) nähtub, et $\varepsilon_n > \varepsilon_x$ puhul on elektrimootori ülekoormatavus soojenemise mõttes seda suurem ja ühesuguse tegeliku võimsuse P_x saamiseks vajalik võimsus P_n seda väiksem, mida suurem on kaotegur α.

Mõnel juhul võivad juuremärgialune avaldis (278) ja $P_x\varepsilon_n/\varepsilon_x < 1$ või $\varepsilon_x > \varepsilon_n$ puhul siiski võrduda nulliga. See tähendab, et mootor, mis on normaalselt arvestatud töötamiseks väärtusel ε_n, võib vastava ε_x korral töötada ainult tühijooksul, sest ta soojeneb püsitemperatuurini ϑ_n ainuüksi püsikao arvel.

ε_x edasisel suurenemisel tuleb juuremärgialuse avaldise ette miinusmärk ja P_x muutub imaginaarseks. Sellisel ε_x väärtusel soojeneb elektrimootor üle lubatud määra isegi ilma koormuseta, s. o. tühjalt pöörlemisel.

Tingimus, mille puhul P_x võrdub nulliga, tehakse kindlaks seosest (278), kui

$$\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_x} + \alpha\left(\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_x} - 1\right) = 0. \qquad (279)$$

Siit

$$\varepsilon_x = \varepsilon_n\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right). \qquad (280)$$

Avaldisest (280) järeldub, et võimalik erinevus ε_n ja ε_x vahel on mootori töövõime säilitamisel seda väiksem, mida suurem on α.

Sellega põhiliselt ongi seletatav asjaolu, et koormuskõvera põhjal leitud võimsus arvutatakse ümber suhtelise lülituskestuse lähimast suuremast standardsest väärtusest ε_n lähtudes.

Seetõttu võib kestvaks talitluseks määratud mootoreid rakendada teatud tingimustel tööle vaheajalises talitluses, kuid kraanamootoreid kestval talitlusel kasutada ei soovitata.

§ 6. Elektrimootori võimsuse leidmine normatiivsete andmete põhjal

Paljude masinate võimsust on analüütiliste arvutustega raske määrata. Sel juhul kasutatakse tabeleid. Need tabelid on koostatud masinate mitmesugustes talitlustingimustes käitamiseks vajaliku võimsuse ja masinaga valmistatava toodangu ühikule kuluva energia erikulu leidmiseks tehtud uurimuste põhjal.

Kui energia erikulu on p J/kg (kW · h/t) ja masina tootlikkus Q kg/s (t/h), siis masina vajalik võimsus

$$P_M = pQ \text{ W}. \qquad (281)$$

Vajalik võimsus elektrimootori võllil

$$P_m = \frac{P_M}{\eta_ü} \text{ W}, \qquad (282)$$

kus $\eta_ü$ on elektrimootori ja töömasina vahelise ülekandemehhanismi kasutegur.

Andmeid võimsuste kohta, mida on põllumajanduse elektrifitseerimisel mitmesugustes tootmisharudes vaja, võib leida käsiraamatutest ja põllumajanduse elektrifitseerimise eeskirjadest.

§ 7. Elektrimootori võimsuse ja agregaadi taandatud inertsmomendi leidmine tõukekoormusel

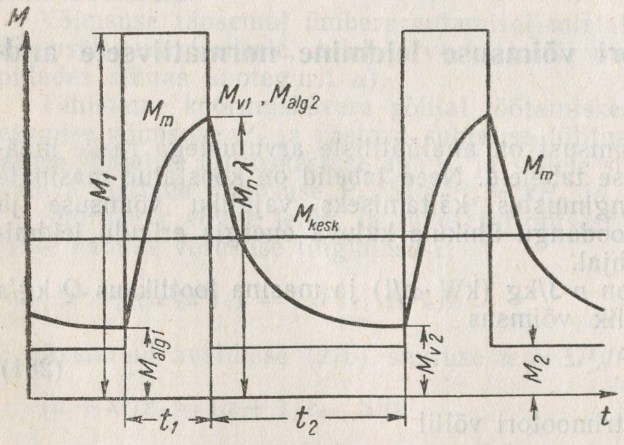
Tõukekoormusel töötaval agregaadil on enamasti hooratas, mille põhjendatud valik kujutab endast keerukat tehnilis-majanduslikku ülesannet. Kuidas ka seda ülesannet ei lahendataks, on variantide võrdlemise aluseks alati tehniliste arvutuste tulemused. Seepärast omistatakse hoorattaga ajamite omaduste arvutamise meetoditele suurt tähtsust. Need meetodid peavad kiiresti andma täpse tehnilise lahenduse.

Lühidalt, esitatud ülesande lahendamine taandub järgmistele arvutusjärkudele.

1. Töömasina koormuskõvera (joon. 96) põhisuuruste M_1, M_2, t_1 ja t_2 leidmine (on peetud silmas perioodilist kahelõigulist tõukekoormuse koormuskõverat).
2. Eelarvutuste jaoks elektrimootori nimimomendi M_n või nimivõimsuse P_n valimine vastavalt elektrimootori nõutud sünkroonpöörlemissageduse ja rootori libistusele nimikoormusel.
3. Hoorattaga ajami kohta tootmisalaste nõuete sõnastamine elektrimootori lubatud ülekoormuse suhtes kas momendi järgi või pöörlemissageduse ebaühtluse määra järgi.
4. Hooratta vajaliku inertsmomendi leidmine.
5. Elektriajami kohta leitud andmete kontrollimine mootori soojenemise järgi.

Selgitame lühidalt üksikute arvutusjärkude sisu.

Esimene arvutusjärk — see on töömasina tegeliku koormuskõvera põhisuuruste leidmine. Kui koormuskõverat ei ole, võib selle kujundada



Joon. 96. Töömasina tõukekoormuse koormuskõver ja mootori koormuskõver agregaadi taandatud inertsmomendi leidmiseks

kas arvutuste teel või katseliselt. Viimasel juhul, eriti dünamograafiga või elektrotensometreerimise teel saadud koormuskõverate puhul, on vaja arvestada hoomasside mõju ja teha koormuskõveras vajalikud parandused.

Koormuskõvera andmetel leitakse arvutuse põhiline suurus — momendi keskväärtus:

$$M_{kesk} = \frac{M_1 t_1 + M_2 t_2}{t_1 + t_2} \text{ Nm.} \qquad (283)$$

Töömasina koormuskõvera väärtus M_{kesk} tegelikult agregaadi inertsmomendist ei sõltu ja on ühesugune nii töömasinale kui ka elektrimootorile (kui jätta arvestamata kadu ülekandes).

Hoomasside mõju ilmneb ainult elektrimootori koormuskõvera ühtlustamisel. Mida suuremad on hoomassid, seda suurem on koormuse ühtlustamise määr. Seejuures $M_{m\,max}$ väheneb ja M_{alg1} suureneb ning mõlemad lähenevad momendi keskväärtusele M_{kesk}. Lõpmata suure hooratta puhul, mil $J \to \infty$, ilmselt $M_{m\,max} = M_{alg1} = M_{kesk}$, kui aga $J \to 0$, püüab elektrimootori koormuskõver täielikult ühtlustuda töömasina koormuskõveraga.

Teine arvutusjärk taandub arvutatava hoorattaga elektriajami elektrimootori nimimomendi esialgsele määramisele. Arvestades hoorattaga elektriajamite projekteerimise alal esinevaid kogemusi, millest selgub, et mootor on ka suhteliselt väikese hooratta korral hästi ära kasutatud, leitakse selle niinimetatud arvutusliku nimimomendi M_{na} väärtus avaldisega

$$M_{na} = (1{,}1 \ldots 1{,}3) M_{kesk}. \qquad (284)$$

Tegelikult annab avaldis (284) otstarbeka lahenduse. Mootori koormuskõvera ruutkeskmine moment $M_{m\,ekv}$, kui koormuskõver on hooratta toime tõttu silutud, osutub enamasti avaldisega (284) määratud piirides olevaks. Võimsuse lõpliku valiku määrab standardsete nimivõimsuste jada, mis ei ühti ei võimsuse ega momendi keskväärtustega ega ka ruutkeskmistega (või ekvivalentväärtustega) $P_{m\,ekv}$ ja $M_{m\,ekv}$.

Seepärast on oluline, et peetaks kinni ainult tingimusest

$$M_{na} \leqslant M_n, \qquad (285)$$

kus M_n on elektrimootori nimimoment, mis on määratud lähima suurema võimsusega mootori kataloogiandmete järgi ja võetud arvutustel lähtealuseks.

Seejuures saadakse teada elektrimootori tehnilised põhiandmed ja nimiväärtused: mootori nimipöörlemissagedus (n_n) ja sünkroonpöörlemissagedus (n_0), libistus nimimomendil s_n, käivitusmomendi ja maksimaalmomendi kordsused μ_0 ja μ_v, kasutegur η, rootori inertsmoment J_m jt.

Kas moment M_n oli eelarvutusteks õigesti valitud, see selgub pärast agregaadi nõutava inertsmomendi ja ruutkeskmise momendi leidmist valitud hoorattaga töötava mootori koormuskõvera põhjal.

Kolmas arvutusjärk kujutab endast hoorattaga elektriajami mootori momendi või pöörlemissageduse lubatud kõikumiste suhtes esitatavate tingimuste sõnastamist. Põhjused selleks võivad olla mitmesugused. Mõnel juhul tahetakse vähendada mootori nimivõimsust, teistel juhtudel on põhjuseks tehnoloogia ranged nõuded, mis lubavad pöörlemissageduse muutumist täpselt määratud piirides, kolmandatel juhtudel aga vajadus piirata mootori tarbimisvoolu järske kõikumisi, mis mõjuvad kahjulikult teistele tarbijatele.

Ajami lineaarse mehaanilise tunnusjoone korral on nõudeid ülekoormusmomendi suhtes võimalik hõlpsasti väljendada pöörlemissageduse kaudu ja vastupidi.

Selgituseks esitame etteantavate suuruste arvutamise käigu, lähtudes pöörlemissageduse lubatud ebaühtluse määra δ väärtusest.

Nagu teada,

$$\delta = \frac{n_1 - n_2}{n_{kesk}} = \frac{2(n_1 - n_2)}{n_1 + n_2}. \tag{286}$$

Järelikult on δ väärtus tingitud mootori maksimaalse pöörlemissageduse n_1 ja minimaalselt lubatud pöörlemissageduse n_2 vahekorrast.

Pöörlemissageduse n_1 maksimaalväärtus arvutatakse valemiga

$$n_1 \approx n_0 \left(1 - \frac{M_{alg1}}{M_n} s_n\right), \tag{287}$$

kus n_0 on sünkroonpöörlemissagedus p/s;

M_{alg1} — elektrimootori minimaalmoment koormuse pealevõtul ja äkklangul, mis soovitatakse valida tingimusest

$$M_{alg1} = (1{,}0 \ldots 1{,}1) M_2. \tag{288}$$

Siis võime arvutada pöörlemissageduse n_2 minimaalväärtuse, arvestades valemeid (286) ja (287):

$$n_2 = \frac{n_1(2 - \delta)}{2 + \delta}. \tag{289}$$

Teades n_2, on lihtne leida suurim libistus s_λ, mis vastab pöörlemissageduse (etteantu põhjal) lubatud ebaühtluse määrale δ:

$$s_\lambda = \frac{n_0 - n_2}{n_0} = 1 - \frac{n_2}{n_0}. \tag{290}$$

Siit, arvestades võrrandit (289), saame:

$$s_\lambda = 1 - \frac{n_1(2 - \delta)}{n_0(2 + \delta)}. \tag{291}$$

Arvutamiseks on vaja teada elektrimootori võllil tekkiva maksimaalmomendi väärtust ($M_{m\,max}$), kui mootori pöörlemissagedus ülekoormuste kestel tohib väheneda väärtuseni n_2. Teades s_λ, arvutame selle momendi, arvestades valemit (121), järgmiselt:

$$M_{m\,max} = \frac{M_n}{s_n} s_\lambda = \frac{M_n}{s_n}\left[1 - \frac{n_1(2 - \delta)}{n_0(2 + \delta)}\right]. \tag{292}$$

Nii seostatakse pöörlemissageduse lubatud ebaühtluse määr elektrimootori lubatud ülekoormusega momendi järgi.

Neil juhtudel, mil hooratas arvutatakse vahetult elektrimootori mehaanilise ülekoormuse tingimuste põhjal, kirjutatakse momentidevaheline sõltuvus üles järgmisel kujul:

$$M_{m\,max} = M_n \lambda, \tag{293}$$

kus λ on elektrimootori lubatud ülekoormustegur.

Kui elektrimootori ülekoormatavust tahetakse maksimaalselt ära kasutada, valitakse λ väärtus sellise arvestusega, et

$$\lambda = (0{,}8 \ldots 0{,}9) \mu_v. \tag{294}$$

Antud juhul on $\mu_v = M_v/M_n$ elektrimootori maksimaalmomendi kordsus; arvude 0,8 ... 0,9 valimisel arvestatakse tegelikes tingimustes võimalikku võrgupinge erinemist nimipingest.

Avaldise (292) suhtes on suurusel λ pöörlemissageduse lubatud ebaühtluse määrast sõltuvalt mitmesugused väärtused. See suurus on alati leitav seosest

$$\lambda = \frac{s_\lambda}{s_n}. \tag{295}$$

Võrreldes λ väärtusi, mis on saadud avaldistega (295) ja (294), võime hinnata, mil määral elektrimootori ülekoormatavust hooratta arvutamisel pöörlemissageduse lubatud ebaühtluse määra järgi ära kasutatakse.

Neljas arvutusjärk. Tõukekoormusel võime inertsmomendi arvutada valemiga (149) või graafilis-analüütiliselt, rakendades avaldist (152), kus, nagu varem oli eeldatud:

$$\varkappa = \frac{M_n\lambda}{M_1} = \frac{M_{v1}}{M_1}; \quad \alpha = \frac{M_2}{M_1}; \quad y = \frac{t_1}{T_{em}}; \quad z = \frac{t_2}{t_1}.$$

Valemi (149) järgi lahendatakse ülesanne mõnede valikuliste arvutustega otsitavale tulemusele järkjärgulise lähenemise teel.

Graafilis-analüütilisel arvutusel on vaja võrrandi (152) vasakpoolse ja parempoolse osa abisuuruste põhjal kujundada kaks kõverat:

$$W_1 = 1 - \varkappa + (\varkappa - \alpha)\,e^{-y(z+1)} \quad \text{ja} \quad W_2 = (1-\alpha)\,e^{-y}.$$

Nende lõikepunkt annab analoogiliselt joonisega 71 üheselt otsitava tulemuse.

Kõverate kujundamiseks koostatakse järgmiste suuruste tabel:

$$W_1 = f(y) \quad \text{ja} \quad W_2 = \varphi(y).$$

Et vältida liigset tööd selle arvutustabeli koostamisel, arvutatakse suuruse y ligikaudne väärtus valemiga (157).

See suurus viitab ligikaudu piirkonnale, kus leiduvad antud konkreetse juhu otsitavale ligilähedased y väärtused, mida tulebki kujundatavate kõverate punktide määramisel kasutada.

Kui suurus y on graafilis-analüütiliselt leitud, siis leitakse agregaadi elektromehaaniline ajakonstant $T_{em} = t_1/y$ ja sellele vastavalt ka agregaadi taandatud inertsmoment:

$$J = \frac{M_n T_{em}}{2\pi n_0 s_n}.$$

Elektrimootori (J_m) ja töömasina inertsmomendi (J_t) suurendamiseks paigaldatava hooratta taandatud inertsmoment (J_j) arvutatakse üldtuntud seose järgi

$$J_j = J - (J_m + J_t). \tag{296}$$

Viies arvutusjärk. Soojenemise järgi kontrollimisel peab kehtima tingimus

$$M_{m\,ekv} \leqslant M_n, \tag{297}$$

kus $M_{m\,ekv}$ on agregaadi inertsmomendiga, mis on arvutatud valemiga (149), töötava elektrimootori ekvivalentmoment (ehk ruutkeskmine moment) koormuskõvera põhjal.

Üldkujul leitakse elektrimootori ekvivalentmoment tõukekoormuse kahelõigulise koormuskõvera puhul valemiga

$$M_{m\,ekv} = \sqrt{\frac{1}{t_{ts}}\left(\int_0^{t_1} M_{m1}^2\,dt + \int_0^{t_2} M_{m2}^2\,dt\right)}, \qquad (298)$$

mis pärast integreerimist ja mõningaid teisendusi omandab kuju

$$M_{m\,ekv} = M_1 \sqrt{\frac{t_1 + \alpha^2 t_2}{t_{ts}} - \frac{T_{em}(1-\alpha)^2\left(1 - e^{-\frac{t_1}{T_{em}}}\right)\left(1 - e^{-\frac{t_2}{T_{em}}}\right)}{t_{ts}\left(1 - e^{-\frac{t_{ts}}{T_{em}}}\right)}}. \qquad (299)$$

Kui kontrollimisel selgub, et eelarvutusteks valitud mootori nimimoment M_n rahuldab avaldist (297), võib ülesande lugeda lahendatuks. Kui aga selgub, et $M_{m\,ekv} > M_n$, tuleb lahendust täpsustada. Seejuures võib edasi lahendada kahel viisil: kas valitakse suurema võimsusega elektrimootor ja vähendatakse veidi hooratta mõõtmeid või valitakse suurema inertsmomendiga hooratas ja jäetakse alles varem valitud elektrimootor.

Viimasel juhul taandub ülesanne sellele, et saada rahulikum elektrimootori koormuskõver (väikseima $M_{m\,max}$ ja $M_{m\,ekv}$ väärtusega).

Lõplik otsus ühe või teise variandi kohta tehakse tehnilis-majandusliku võrdluse põhjal, kusjuures eristamise alused võivad olla mitmesugused sõltuvalt konkreetsetest tingimustest (esialgsed kulutused, kasutamiskulud, metallikulu, mõõtmed, energiakadu, käivitusolukord jms.).

§ 8. Elektrimootori võimsuse ja agregaadi taandatud inertsmomendi leidmine töömasina koosinuselis-ristkülikulise koormuskõvera korral

Koosinuselis-ristkülikulised koormuskõverad on pulseeriva koormuse olulisemad koormuskõverad, mis on iseloomulikud paljudele töömasinatele, millel on korrapäratu kujuga koormuskõver.

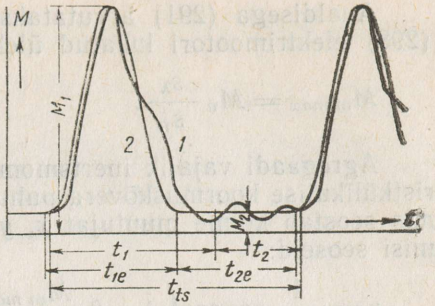
Tegelikkuses esineb sageli koormuskõveraid, millel on korrapäratu trapetsi või katkendliku harmoonilise kõvera kuju koos enam-vähem korrapärase ristkülikulise osaga.

Nende koormuskõverate korrapäratu kuju raskendab nende avaldamist mingi funktsioonina ja sunnib rakendama nende väljendamiseks ligikaudseid avaldisi.

Sageli on tegelikke koormuskõveraid üsna mugav asendada nendega ekvivalentsete koosinuselis-ristkülikuliste koormuskõveratega.

Joonisel 97 (kõver *1*) on kujutatud korrapäratu kujuga koormuskõver, mis arvutustes asendatakse samaväärse koosinuselis-ristkülikulise koormuskõveraga (kõver *2*).

Asendamise tingimused on järgmised: a) tsükli ulatuses ekvivalentse koormuskõveraga piiratud pindala peab võrduma tegeliku koormuskõveraga piiratud pindalaga; b) ekvivalentse ja tegeliku koormuskõvera momentide maksimaalväärtused M_1 peavad olema omavahel võrdsed,



Joon. 97. Korrapäratu kujuga koormuskõvera asendamine ekvivalentse koormuskõveraga

tegeliku koormuskõvera minimaalmoment M_2 läheb jäävana üle ekvivalentsesse koormuskõverasse; c) tsükli kestus t_{ts} jääb muutumatuks.

Arvutusjärkude järjekord on antud juhul samasugune, nagu oli § 7 esitatud tõukekoormusega agregaatide ja masinate kohta.

Esmalt leitakse tegeliku koormuskõvera järgi maksimaalmomendi M_1 ja minimaalmomendi M_2 väärtus.

Koormuskõverast või tehnoloogia tingimustest on teada või hõlpus leida koormusmomendi keskväärtus M_{kesk} ja tsükli kestus t_{ts}.

Arvutamisel on ekvivalentset koormuskõverat iseloomustavateks olulisteks suurusteks koormustipu kestus t_{1e} ja väikseima koormuse kestus t_{2e}.

Kui momendi keskväärtus M_{kesk} on teada, siis leitakse t_{1e} väärtus seosest

$$t_{1e} = \frac{2(M_{kesk} - M_2)\, t_{ts}}{M_1 - M_2}, \tag{300}$$

töötamiskestus väikseima momendiga M_2 aga seosest

$$t_{2e} = t_{ts} - t_{1e}. \tag{301}$$

Kui on teada koormuskõveraga piiratud pindala S (m^2) tsükli ulatuses ja tsükli kestus, võib t_{1e} väärtuse arvutada valemiga

$$t_{1e} = \frac{2(Sm_M m_t - M_2 t_{ts})}{M_1 - M_2}, \tag{302}$$

kus m_M on momentide kujutusühik Nm 1 m kohta;

m_t — aja kujutusühik s 1 m kohta.

Niiviisi määratakse kindlaks ekvivalentse koormuskõvera põhisuurused.

Eelarvutuste jaoks valitakse mootori nimimoment ja sõnastatakse tingimused hoorattaga ajami kohta samuti nagu paragrahvis 7. Erinevus seisneb ainult selles, et koosinuselis-ristkülikulise koormuskõvera korral võib arvutusliku nimimomendi M_{na} küllalt suure täpsusega leida valemiga

$$M_{na} = k_{mk} M_{kesk}, \tag{303}$$

kus $k_{mk} = M_{m\,ekv}/M_{kesk}$ on elektrimootori koormuskõvera kujutegur, mis leitakse joonisel 76 esitatud diagrammide järgi töömasina antud koormuskõvera abisuuruste a ja ε ning ligikaudse väärtuse $y = 2 \ldots 3$ alusel.

Arvutuste jaoks valitakse kataloogi järgi elektrimootor, mille nimivõimsus leitakse tingimusest

$$M_n \geqslant M_{na}. \tag{304}$$

Avaldisega (291) arvutatakse s_λ väärtus, seejärel leitakse valemiga (298) elektrimootori lubatud ülekoormusmomendi väärtus:

$$M_{m\,max} = M_n \frac{s_\lambda}{s_n}. \tag{305}$$

Agregaadi vajalik inertsmoment määratakse töömasina koosinuselisristkülikulise koormuskõvera puhul joonisel 74 esitatud nomogrammi abil, mis seostab kolme muutujat x, y ja z, mis omakorda väljendavad järgmisi seoseid:

$$x = \frac{1}{2\pi} \arccos\left(1 - 2\frac{M_{m\,max} - M_2}{M_1 - M_2}\right); \quad y = \frac{t_{1e}}{T_{em}}; \quad z = \frac{t_{2e}}{t_{1e}}. \tag{306}$$

Suuruste x ja z väärtused on hõlpsasti leitavad, sest on teada koormuskõvera abisuurused M_1, M_2, t_{1e}, t_{2e}, $M_{m\,max}$.

Teades x ja z, leitakse suurus y joonisel 74 kujutatud nomogrammi järgi.

Kui on teada suuruste t_{1e} väärtus, leitakse avaldisest (306) elektriajami elektromehaaniline ajakonstant:

$$T_{em} = \frac{t_{1e}}{y}. \tag{307}$$

Agregaadi otsitav inertsmoment

$$J = \frac{T_{em} M_n}{2\pi n_0 s_n}. \tag{308}$$

Neid elektriajami kohta leitud väärtusi kontrollitakse elektrimootori soojenemistingimuste järgi valemiga

$$M_n \geqslant k_{mk} M_{kesk}. \tag{309}$$

Teguri k_{mk} väärtus leitakse antud juhul joonisel 76 kujutatud nomogrammide järgi, mida võib avaldada järgmiste sõltuvustena:

$$k_{mk} = f(\alpha, \varepsilon, y),$$

kus

$$\alpha = \frac{M_2}{M_1}, \quad \varepsilon = \frac{t_{1e}}{t_{ts}},$$

suurus y aga on sama mis avaldises (307).

Ülesanne loetakse lahendatuks, kui on rahuldatud tingimus (309).

VI PEATÜKK

ELEKTRIJÕUSEADMETE VÕIMSUSTEGUR JA SELLE PARENDAMISE VIISID

§ 1. Mida põhjustab halb cos φ

Elektrienergia säästmine on rahvamajandusliku tähtsusega ülesanne. Halb cos φ põhjustab liigset metallikulu elektrivõrkudes, generaatorites ja trafodes, primaarjõuallikate paigaldusvõimsuse mittetäielikku ärakasutamist, nende kasuteguri halvenemist ja kütuse märgatavat ülekulu elektrienergia tootmisel. Põllumajanduses kasutatavate elektrijõuseadmete cos φ on äärmiselt halb. Vaatleme lähemalt, mispärast võideldakse cos φ parendamise eest.

1. *Elektrimootorid, mis töötavad väikese võimsusteguriga, koormavad mittetootlikult elektrijaamade generaatoreid ja alajaamade trafosid.* Võimsus, mida kolmefaasiline asünkroonmootor võrgust vajab, on

$$P = \sqrt{3}\, UI \cos \varphi \ \text{W} \tag{310}$$

ja vool

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, U \cos \varphi}, \tag{311}$$

kus U on elektrimootori klemmipinge;

I — võrgust tulev ja trafo või generaatori mähiseid läbiv vool.

Avaldistest (310) ja (311) on näha, et mootori poolt arendatava ühe ja sellesama võimsuse korral peab võrgust võetav vool olema seda tugevam, mida väiksem on cos φ. Et generaatori ja trafo võimsuse määrab (soojenemise järgi) vool, on tarbija ühe ja sellesama kasuliku võimsuse korral vaja seda suurema võimsusega generaatorit või trafot, mida halvem on tarbija cos φ.

Näide. Leida trafo paigaldusvõimsus tarbijate toitmiseks, mille tegevvõimsus $P = 25$ kW, kui ühel juhul võimsustegur cos $\varphi = 0{,}85$, teisel juhul aga 0,5.

Trafo paigaldusvõimsus

$$S_{tr} = \frac{P}{\cos \varphi} \ \text{VA}.$$

Tarbijale, mille cos $\varphi_1 = 0{,}85$, on vaja trafot näivvõimsusega

$$S_{tr1} = \frac{P}{\cos \varphi_1} = \frac{25\,000}{0{,}85} = 30\,000 \ \text{VA} = 30 \ \text{kVA},$$

tarbijale aga, mille $\cos \varphi_2 = 0{,}5$.

$$S_{tr2} = \frac{P}{\cos \varphi_2} = \frac{25\,000}{0{,}5} = 50\,000 \text{ VA} = 50 \text{ kVA}.$$

Niisiis, tarbija, mis ühe ja sellesama tegevkoormuse korral töötab väikese võimsusteguriga, nõuab suurema nimivõimsusega ja kallimat trafot. Sama kehtib ka elektrijaama generaatorite paigaldusvõimsuse kohta.

2. *Halb* $\cos \varphi$ *põhjustab primaarjõuallikate mittetäielikku ärakasutamist ja kasuteguri vähenemist.*

Primaarjõuallika koormuse määrab generaatori võimsuse tegevkomponent. Kui pidada silmas, et tavaliselt on generaator arvutatud töötamiseks nimivõimsusteguriga $\cos \varphi_n$, siis leitakse primaarjõuallika võimsus generaatori tegevvõimsuse järgi järgmiselt:

$$P_n = \sqrt{3}\, U_n I_n \cos \varphi_n \text{ W}. \tag{312}$$

Kui võimsustegur on $\cos \varphi_x$, on ka generaatori tegevvõimsus teistsugune:

$$P_x = \sqrt{3}\, U_n I_n \cos \varphi_x \text{ W}. \tag{313}$$

Primaarjõuallika koormamistegur väljendub avaldiste (313) ja (312) jagatisena:

$$k_k = \frac{P_x}{P_n} = \frac{\cos \varphi_x}{\cos \varphi_n}. \tag{314}$$

Avaldisest (314) selgub, et mida väiksem on tegelikult kujunev võimsustegur $\cos \varphi_x$ võrreldes antud generaatori nimivõimsusteguriga $\cos \varphi_n$, seda vähem on primaarjõuallikas koormatud. Niisugusel juhul ei ole primaarjõuallika koormuse suurendamine võimalik, sest see põhjustaks generaatori mähiste ülekoormamist vooluga ja nende liigkuumenemist.

Primaarjõuallika paratamatu alakoormusega kaasneb aga tema kasuteguri vähenemine.

3. *Halb* $\cos \varphi$ *suurendab energiakadu juhtmetes, kao jäävana säilitamiseks oleks aga vaja suurema ristlõikega juhtmeid.*

Olgu p' võimsuskadu juhtmetes koormusel, mille puhul võimsustegur on $\cos \varphi'$; p'' — võimsuskadu $\cos \varphi''$ korral; I — koormuse tegevvool ja r — juhtmete tegevtakistus.

Et võimsuskadu juhtmetes koormusvoolu I ja $\cos \varphi'$ korral on

$$p' = \frac{I^2 r}{\cos^2 \varphi'} \tag{315}$$

ja samal koormusel $\cos \varphi''$ korral

$$p'' = \frac{I^2 r}{\cos^2 \varphi''}, \tag{316}$$

siis avaldiste (315) ja (316) võrdlemisel selgub, et $p' < p''$, sest $I^2 r = \text{const}$ ja $\cos \varphi' > \cos \varphi''$. Seejuures määrab kao suurenemise $\cos \varphi$ vähenemisel järgmine suhe:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{\cos^2 \varphi''}{\cos^2 \varphi'}. \tag{317}$$

Niisiis on võimsuskadu juhtmetes pöördvõrdeline võimsusteguri ruuduga.

Tavaliselt on lubatud kadu juhtmetes rangelt normitud ja väljendatakse teatud protsendina kasulikust võimsusest. Seepärast tuleb väikese võimsusteguriga võrkudes kao säilitamiseks normidega lubatud piirides vähendada takistust r, mis aga nõuab juhtmete ristlõike suurendamist.

Eeldades, et kadu p on ühesugune nii võimsusteguri $\cos\varphi'$ kui ka $\cos\varphi''$ korral, võime kirjutada järgmised võrdsused:

$$S' = \frac{I^2 l \varrho}{p \cos^2 \varphi'} \tag{318}$$

ja

$$S'' = \frac{I^2 l \varrho}{p \cos^2 \varphi''}, \tag{319}$$

kus S' ja S'' on juhtmete ristlõiked, mis vastavad võimsusteguritele $\cos\varphi'$ ja $\cos\varphi''$;
I — koormuse tegevvool,
l — juhtmete pikkus;
ϱ — juhtmematerjali eritakistus.

Jaganud avaldise (319) avaldisega (318), näeme, et

$$\frac{S''}{S'} = \frac{\cos^2 \varphi'}{\cos^2 \varphi''}, \quad \text{kust} \quad S'' = S' \frac{\cos^2 \varphi'}{\cos^2 \varphi''}. \tag{320}$$

Avaldisest (320) on näha, et ühe ja sellesama kasuliku koormuse puhul (kui ka kadu peab jääma ühesuguseks) tuleb halvema $\cos\varphi$ korral suurendada juhtmete ristlõiget $\cos^2\varphi'/\cos^2\varphi''$ korda. On selge, et $\cos^2\varphi'/\cos^2\varphi''$ korda suureneb ka selle võrgu juhtmeteks kuluva metalli kogus.

Metallikulu piirab aga põllumajanduse elektrifitseerimise arengut tunduvalt.

Niisugune on $\cos\varphi$ probleem põllumajanduse elektrifitseerimise edasiarendamise üldiste ülesannete seisukohalt.

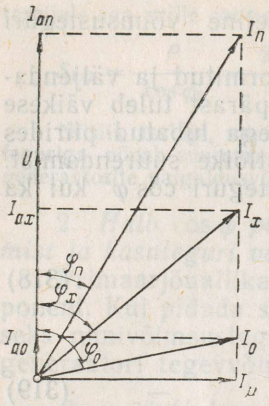
§ 2. Tegurid, mis halvendavad asünkroonmootorite võimsusteguri

Asünkroonmootori töötamine on seoses pöörleva magnetväljaga. Selle välja tekitamiseks vajab mootor magneetimisvoolu ehk ebavoolu, mis hilineb mootorile rakendatud pingest ligikaudu 90° võrra ja põhjustab faasinihke mootorisse tuleva koguvoolu ja võrgupinge vahel.

Põhilisi seoseid, mis esinevad asünkroonmootoris koormuse muutumisel tühijooksust nimikoormuseni, võime selgitada joonisel 98 kujutatud vektordiagrammiga (jättes arvestamata puistevälja mõju ja tegevpingekao elektrimootori mähistes).

Eeldame, et igasugusel elektrimootori koormuse kõikumisel jäävad magneetimisvool I_μ, magnetvoog Φ ja mootori klemmipinge U muutumatuiks.

Vektordiagramm näitab, millist mõju avaldab faasinihke kujunemisele magneetimisvool I ja kuidas mõjustab võimsusteguri $\cos\varphi$ väärtust mootori koormus, mille mõõduks on pingevektoriga U ühes sihis olevad voolu tegevkomponendid I_{a0}, I_{ax} ja I_{an}.



Joon. 98. Vektordiagramm, mis selgitab faasinihkenurga φ muutumist koormuse muutumisel

Mootori tühijooksul on voolu tegevkomponent I_{a0}. Mootorisse tulev kogu tühijooksuvool on $\bar{I}_{a0} + \bar{I}_\mu = \bar{I}_0$.

Et tühijooksukadu on väike, magneetimisvool aga 20 ... 40% kogu nimikoormusvoolust, siis on tühijooksul voolu ebakomponendi (magneetimisvoolu) mõju väga suur. Pinge U ja kogu tühijooksuvoolu I_0 vaheline faasinihe φ_0 kujuneb väga suureks, võimsusteguri väärtus aga on tühine, sest

$$\cos \varphi_0 = \frac{I_{a0}}{I_0}.$$

Väikese ja keskmise võimsusega elektrimootorite $\cos \varphi_0$ on 0,1 ... 0,3.

Koormuse suurenemisega voolu tegevkomponent suureneb ja magneetimisvoolu suhteline osatähtsus väheneb. Selle tõttu koguvoolu ja pinge vaheline faasinihkenurk φ väheneb ja $\cos \varphi$ suureneb, saavutades nimikoormusel väärtuse 0,7 ... 0,95. Väiksem $\cos \varphi$ on väikese võimsusega ja aeglasekäigulistel, suurem $\cos \varphi$ aga võimsatel ning kiirekäigulistel elektrimootoritel.

Diagrammil kujutab vektor I_{an} voolu tegevkomponenti ja I_n koguvoolu, nurk φ_n aga on faasinihe nimikoormusel.

Vektorid I_{ax} ja I_x ning nurk φ_x vastavad mingile tühijooksu ja nimikoormuse vahepealsele koormusele.

Diagrammi põhjal võime kirjutada:

$$\cos \varphi_0 < \cos \varphi_x < \cos \varphi_n,$$

millega on tõestatud, et mootori koormuse suurenemisel nimikoormuseni ja ka teatava ülekoormuseni võimsustegur pareneb.

Asünkroonmootorite tööanalüüsist on hõlpsasti näha, et magneetimisvoolu absoluutväärtuse kasv mingil põhjusel, kui kõik muud tingimused jäävad samaks, põhjustab $\cos \varphi_n$ vähenemist.

Selgitame, millised tegurid põhjustavad magneetimisvoolu tugevnemist ja järelikult ka elektrimootori pöördvälja tekitamiseks vajaliku ebavõimsuse suurenemist. Need tegurid tehakse kindlaks ebavõimsuse avaldisest. Elektrotehnika kursusest on teada, et asünkroonmootori ebavõimsus

$$Q = \frac{1}{4} f_1 B^2 S \delta, \qquad (321)$$

kus f_1 on toitevõrgu vahelduvvoolu sagedus;

B — magnetvoo tihedus ehk magnetiline induktsioon õhupilus;

S — rootori külgpindala;

δ — õhupilu laius.

Sellest avaldisest on näha, et ebavõimsus Q on seda suurem ja $\cos \varphi$ seda halvem, mida suurem on toitevoolu sagedus f_1, magnetvoo tihedus B, õhupilu laius δ ja rootori pindala S.

Neid asjaolusid arvestades on võimalik mitmesuguseid elektrimootoreid nende normaalse võimsusteguri mõttes võrrelda.

§ 3. Väiksema võimsusteguriga elektrimootorid

Väikese võimsusega elektrimootorite võimsustegur on väiksem kui sama tüüpi suurtel mootoritel, sest väikese võimsusega mootorite õhupilu, mis mõjustab tugevasti ebavõimsuse Q väärtust, on suhteliselt laiem kui võimsatel mootoritel.

Tabelis 7 on esitatud lühisrootoriga asünkroonmootorite $\cos\varphi$ ligikaudne sõltuvus mootori võimsusest ja pöörlemissagedusest.

Tabel 7

Elektrimootori nimivõimsus kW	Sünkroonpöörlemissagedus p/s (p/min)			
	50 (3000)	25 (1500)	16,7 (1000)	12,5 (750)
0,6	—	0,76	—	—
1,0	0,86	0,79	0,72	—
1,7	0,87	0,82	0,75	—
2,8	0,88	0,84	0,78	—
4,5	0,88	0,85	0,80	0,76
7	0,89	0,86	0,81	0,78
10	0,89	0,88	0,82	0,80
14	0,90	0,88	0,83	0,81
20	0,90	0,88	0,84	0,82
28	0,91	0,88	0,86	0,83
40	0,91	0,89	0,87	0,84
55	0,92	0,89	0,88	0,84
75	0,92	0,90	0,89	—
100	0,92	0,90	—	—

Aeglasekäiguliste elektrimootorite $\cos\varphi$ on väiksem kui kiirekäigulistel, sest aeglasekäigulisel mootoril on rohkem pooluseid, mis suurendab tema mõõtmeid (S). Ka õhupilu on aeglasekäigulistel mootoritel veidi laiem kui kiirekäigulistel.

Faasirootoriga elektrimootoritel on (3...4% võrra) halvem $\cos\varphi$ kui lühisrootoriga mootoritel, sest kontaktrõngastega mootorite õhupilu on veidi laiem kui lühisrootoriga mootoritel. Võimsusteguri vähenemist põhjustab ka kontaktrõngastega mootorite märgatavalt suurem puisteväli.

Kuul- ja rull-laagritega elektrimootoritel on parem $\cos\varphi$ kui liugelaagritega mootoritel, sest kuullaagrite väiksema kuluvuse tõttu on nende õhupilu kitsam.

Kraanamootoritel ja tõukekoormuse jaoks määratud mootoritel on mehaanilise tugevuse kaalutlustel laiem õhupilu. Seetõttu on nende mootorite võimsustegur märgatavalt väiksem kui normaalseks tööks arvestatud mootoritel.

Halvem $\cos\varphi$ on kõrgepingemootoritel, sest neil on sama magneetimisergutuse puhul vaja tugevamat isolatsiooni; järelikult on nende uurde täitetegur halvem ja õhupilu laiem.

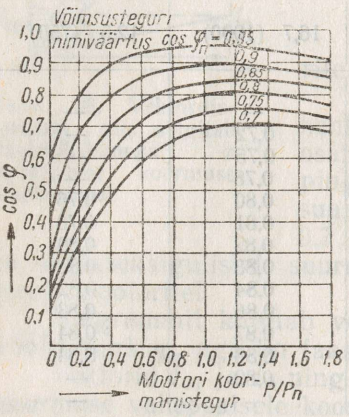
Kõiki neid kaalutlusi eri tüüpi elektrimootorite $\cos\varphi$ normaalväärtuse kohta on vaja elektriajamite projekteerimisel arvestada.

Masinate käitamiseks valitakse võimalikult suure võimsusteguriga mootorid.

§ 4. Võimsusteguri vähenemist põhjustavad kasutamistingimused

Kõige paremateligi elektrimootoritel (cos φ nimiväärtuse mõttes) võib võimsustegur olla väike, kui neid mootoreid ebakohaselt kasutada. Mootori cos φ sõltub tunduvalt mootori koormusest.

Joonisel 99 on esitatud kõverad, mis kujutavad cos φ sõltuvust koormusest mitmesugustel mootoritel, mille võimsusteguri nimiväärtus on 0,70 ... 0,95. Taolisi kõveraid võiks kataloogides leiduvate andmete alusel kujundada teistegi asünkroonmootorite kohta.



Joon. 99. Kõverad, mis kujutavad cos φ sõltuvust mootori koormamisest

Need andmed ja kõverad (joon. 99) tõendavad, et mootori alakoormamisega halveneb cos φ tunduvalt. Suurim cos φ esineb nimikoormusel või isegi väikesel ülekoormusel. Suurtel ülekoormustel hakkab cos φ jällegi vähenema suure puistevoo tõttu, mida põhjustab terase küllastumus.

Sageli väheneb cos φ asünkroonmootorite ebaõige remondi tõttu. Laagrite ühelt küljelt kulumisel, mis moonutab õhupilu normaalmõõtmeid ja põhjustab rootori hõõrdumist vastu staatorit, treitakse rootor või staator üle. Selle tagajärjel laieneb õhupilu ja remonditud mootori töölepanekul tugevneb märgatavalt magneetmisvool, võimsustegur aga vastavalt väheneb.

Võimsusteguri halvenemist põhjustab sageli mootori vale ümbermähkimine. Kui staatori uuretesse paigutada tehase poolt arvutatust vähem keerde, siis on mootori ühesuguse klemmipinge korral vaja suuremat magnetvoogu, see aga tugevdab magneetimisvoolu ja tingib suhteliselt suuremat ebavõimsust.

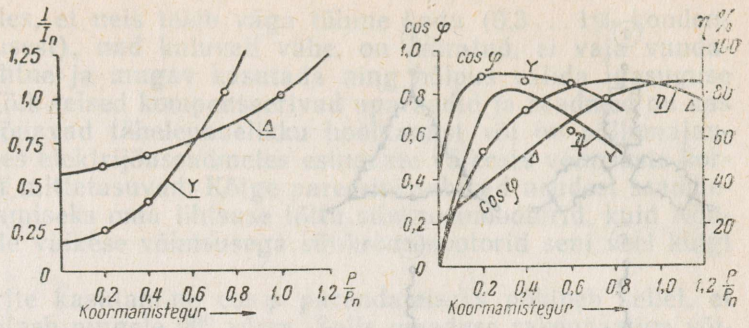
Võimsusteguri väärtust mõjustab ka võrgupinge kõikumine. Pinge kõrgenemisel cos φ halveneb, alanemisel aga pareneb, sest pinge kõrgenemisel magneetimisvool tugevneb.

§ 5. Võimsusteguri parendamise viisid

Tööpinkidele ja masinatele elektrimootorite valimisel on vaja hoolikalt kindlaks määrata nende vajalik võimsus. Mootorit ei tohi valida «silma järgi» ja «igaks juhuks» suure varuga. Suure varuga valitud mootorid hakkavad töötama alakoormustel ja järelikult väikese võimsusteguriga.

Tuleb valida sellised elektrimootorid, mille nimivõimsustegur cos φ on suurim. Kus vähegi võimalik, tuleb kiirekäigulisi, kuullaagritega varustatud lühisrootoriga asünkroonmootoreid eelistada aeglasekäiguliste, liugelaagritega varustatud kontaktrõngas-elektrimootoritele.

Töötavate elektrijõuseadmete kõige tõhusam cos φ parendamise viis on elektrimootorite täielik koormamine. Metallitöötlemispinkidel on see võimalik laastu ristlõike või lõikekiiruse suurendamisega, milleks võetakse kasutusele eriti vastupidavad lõiketerad. Elektrimootorite tühijooksu, mis tekib tööpinkide või masinate seiskamisel, tuleb vältida elektrimootori ümberlülitamisega tühikäigu-rihmarattale või töömasinast hõõrdesiduri



Joon. 100. Kõverad, mis kujutavad lühisasünkroonmootori I, $\cos\varphi$ ja η sõltuvust mähiste täht- ja kolmnurklülituse korral

lahutamise teel. Kõige käepärasemad seadised tööpinkide kiireks käivitamiseks ja seiskamiseks on mitmesugused nuppjuhtimisega käivitid.

Kui tehnoloogia ümberkorraldamisega ei õnnestu elektrimootoreid küllaldaselt koormata, tuleb elektrimootorid käitises ümber vahetada. Vähe koormatud mootorid paigutatakse masinatele, mille koormus vastab antud mootorile, nende asemele aga võetakse sobivad mootorid teistelt masinatelt või hangitakse väiksema võimsusega mootorid.

Mõnikord on elektrimootori mittetäielik koormus tingitud ühe mootori kasutamisest mitme erisuguse võimsusega ja eri aegadel lühiajaliselt töötava masina käitamiseks või sellest, et tööpingile pole võimalik anda täit koormust tehnoloogiast tulenevate tingimuste tõttu.

Sel juhul on äärmiselt tõhus $\cos\varphi$ parendamise abinõu mootori mähiste lülitamine kolmnurgast tähte, s. t. vastupidine sellele, mida rakendatakse tähtkolmnurkkäivitamisel.

Sellisel ümberlülitamisel alaneb mootori faasipinge $\sqrt{3}$ korda, elektrimootori vool ja võimsus aga vähenevad ligikaudu 3 korda. Madalama pinge tõttu nõrgeneb magneetimisvool ja väheneb ebavõimsus. Selle tulemusena suureneb $\cos\varphi$ järsult, eriti väikestel koormustel.

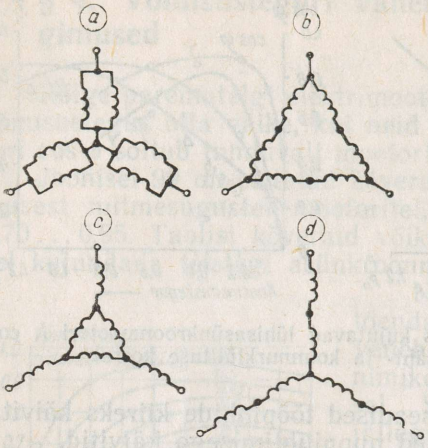
Joonisel 100 on esitatud kõverad, mis kujutavad väikese võimsusega (ligikaudu 1,5 kW) asünkroonmootori voolu I, $\cos\varphi$ ja kasuteguri η sõltuvust koormusest mootori lülitamisel kolmnurgast tähte. Nendest kõveratest on näha, et tähte lülitatud mähistega töötab mootor väikestel koormustel võimsusteguriga, mis on märgatavalt suurem sama mootori võimsustegurist kolmnurka lülitatud mähiste korral.

Kolmnurgast tähte lülitamine suurendab ka mootori kasutegurit, sest väikestel koormustel soojuskadu ja teraseskadu vähenevad, viimane koguni märgatavalt. On ju teraseskadu võrdne magnetvootiheduse ruuduga.

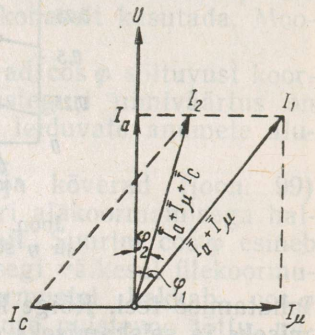
Tavaliselt võib mootor tähte lülitatuna töötada piirides kuni $(0{,}4 \ldots 0{,}5)P_n$, kuna suurem koormamine põhjustaks voolu tunduvat tugevnemist üle lubatud määra. Seejuures halveneb märgatavalt ka kasutegur.

Mähiste lülitamiseks kolmnurgast tähte kasutatakse harilikku tähtkolmnurklülitit. Selline ümberlülitamine on võimalik ainult siis, kui võrgupinge vastab mootori töötamisele kolmnurka lülitatud staatorimähistega.

Teisaldatava elektriajami mootor peab tegema mitmesuguseid töid. Seepärast on seal vaja mootorit, mille $\cos\varphi$ oleks hea ka sellistel osalistel koormustel, mille puhul tähtkolmnurklülitamine ei anna rahuldavaid tulemusi. Niisugune ülesanne lahendatakse staatorimähiste sektsioonide ümberlülitamisega.



Joon. 101. Sektsioneeritud staatorimähisega elektrimootori skeemid



Joon. 102. Voolude vektordiagramm

Skeemidel *a*, *b*, *c* ja *d* (joon. 101) on kujutatud ühe ja sellesama mootori mähiste mitmesuguне lülitus. Skeem *a* vastab mootori nimikoormusele. Skeemid *b*, *c* ja *d* vastavad järk-järgult suuremale jadamisi lülitatud keerdude arvule faasipinge kohta. Ühelt lülituselt teisele üleminekul (tähestiku järjekorras) pinge ühe keeru kohta alaneb, mistõttu magneetimisvool nõrgeneb ja cos φ püsib koormuse vähenemisel nimiväärtuse piires.

Skeemidele *a*, *b*, *c* ja *d* vastavate lülituste loomiseks peab sektsioneeritud mähistega mootoril olema 12 väljavõtet. Mähiseid võib ümber lülitada erilülitiga või kahe vinnaklülitiga.

Tabelis 8 on antud üksikutele skeemidele vastavad osakoormused, mille puhul mootor töötab hea võimsus- ja kasuteguriga.

Tabel 8

Skeem	*a*	*b*	*c*	*d*
Mootori koormus	(0,75 . . . 1) P_n	(0,5 . . . 0,75) P_n	(0,3 . . . 0,5) P_n	(0,2 . . . 0,3) P_n

Kõik eespool käsitletud abinõud kuuluvad loomulike cos φ parendamise viiside hulka, s. t. selliste viiside hulka, mille ülesandeks on üksiku mootori töölerakendamine talle omase suurima, nimiväärtusele lähedase võimsusteguriga. Põllumajanduslikus tootmises peamiselt levinud väikese võimsusega elektrimootorite nimivõimsustegur on 0,75 . . . 0,85. Seetõttu saab põllumajanduses isegi kõige soodsamatel elektrimootorite kasutamise tingimustel vaevalt võimsustegurit loomulikul viisil üle 0,7 . . . 0,8 suurendada. Võimsusteguri veelgi tõhusamaks parendamiseks rakendatakse mitmesuguseid kunstlikke viise, mis taanduvad ebavõimsuse kompenseerimisele.

Kunstlike parendamisviiside hulka kuulub staatiliste kondensaatorite ja sünkroonmootorite kasutamine.

Põllumajanduses on kõige lihtsamaks ja mugavamaks cos φ parendamise seadiseks staatiline kondensaator. Kondensaatorite head omadu-

sed seisnevad selles, et neis tekib väga tühine kadu (0,3 . . . 1% kondensaatori ebavõimsusest), nad kuluvad vähe, on müratud, ei vaja vundamente, neid on lihtne ja mugav kasutada ning hõlpus valida igasuguse võimsuse jaoks. Kõik teised kompenseerivad aparaadid ja seadmed on kas väga keerukad, nõuavad tähelepanelikku hooldamist või on põllumajanduses kasutatavates elektrijõuseadmetes esinevate väikeste võimsuste korral majanduslikult mittetasuvad. Kõige paremini sobivad nendest seadmetest $\cos\varphi$ parendamiseks oma lihtsuse tõttu sünkroonmootorid, kuid Nõukogude Liidus pole väikese võimsusega sünkroonmootorid seni veel kuigi palju levinud.

Kondensaatorite kasutamine $\cos\varphi$ parendamiseks põhineb sellel, et neid läbiv vool eelneb pingele 90° võrra. Selle omaduse rakendamine võimaldabki vabastada generaatorid, trafod ja võrgujuhtmed magneetimisvoolust, mis hilineb pingest ligikaudu 90° nurga võrra.

Vektordiagrammil (joon. 102) on mahtuvusliku voolu vektor I_C nihutatud magneetimisvoolust I_μ 180° ning pinge U ja voolu tegevkomponendist I_a 90° võrra. Füüsikaliselt tähendab see seda, et hetkel, mil magneetimisvool suundub induktiivpooli või staatorimähistesse, kondensaator tühjeneb (annab voolu võrku), ja vastupidi, hetkel, mil induktiivpool või mootori magnetsüsteem annab voolu võrku tagasi, kondensaator laadub ja võtab võrgust voolu.

Kondensaatori mahtuvuse sobiva valikuga võib saavutada olukorra, et mahtuvuslik vool on väärtuselt magneetimisvooluga võrdne. Sel juhul ebavool, mis on voolude I_C ja I_μ geomeetriline summa, võrdub nulliga, elektrijaamast või alajaamast kondensaatorisse ja mootorisse saabuv koguvool aga on võrdne ainult tegevvooluga I_a. Koguvool $\bar{I} = \bar{I}_a + \bar{I}_\mu + \bar{I}_C = I_a$, sest kui $|I_\mu| = |I_C|$, siis $\bar{I}_\mu + \bar{I}_C = 0$.

Sel juhul nurk $\varphi_2 = 0$ ja seadmete võimsustegur $\cos\varphi = 1$.

Kondensaatoreid iseloomustab tavaliselt mitte vool, vaid võimsus (kvar) teatud pingel. Seepärast tehakse kogu arvutus võimsuse alusel.

Üldjuhul, kui on vaja suurendada mootori võimsustegurit või parendada mootorite rühma keskmine võimsustegur $\cos\varphi_1$ mingile väärtusele $\cos\varphi_2$ ja sellega vähendada faasinihe väärtuselt φ_1 väärtusele φ_2 (joon. 103), arvutatakse kondensaatorpatarei ebavõimsus järgmise valemiga:

$$Q_C = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \text{ var}, \tag{322}$$

kus Q_C on staatiliste kondensaatorite patarei otsitav ebavõimsus;
P — mootori või mootorite rühma tegevvõimsus.

Joonisel 103 on:

Q_{L1} ja Q_{L2} — mootori ebavõimsus enne ja pärast kondensaatorite külgeühendamist;

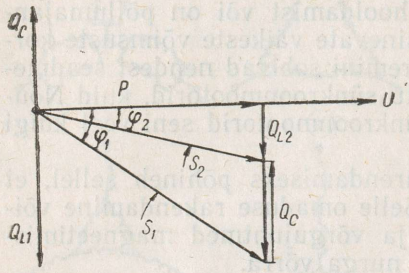
φ_1 ja φ_2 — faasinihkenurk enne ja pärast kondensaatorite külgeühendamist;

S_1 ja S_2 — elektrijaama või transformaatori näivvõimsus enne ja pärast kondensaatorite külgeühendamist.

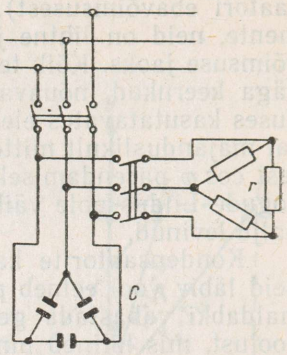
Joonisel 103 kujutatud diagrammi põhjal on trafo paigaldusvõimsuse võimalik vähendamine ΔS_{tr} võimsusteguri suurendamise tõttu väärtuselt $\cos\varphi_1$ väärtusele $\cos\varphi_2$ järgmine:

$$\Delta S_{tr} = P\left(\frac{1}{\cos\varphi_1} - \frac{1}{\cos\varphi_2}\right) \text{ VA}. \tag{323}$$

Kolmefaasilise kondensaatorpatarei mahtuvus leitakse järgmise



Joon. 103. Võimuste vektordiagramm



Joon. 104. Kondensaatorseadme skeem rühmakompensatsiooni puhul

valemiga:

$$3C = \frac{Q_C}{\omega U^2} \text{ F}, \tag{324}$$

kus C on kondensaatorpatarei ühe faasi mahtuvus;
Q_C — staatiliste kondensaatorite patarei otsitav võimsus;
$\omega = 2\pi f$ — nurksagedus; kui $f = 50$ Hz, siis $\omega = 314$ rad/s;
U — kondensaatori faasipinge.

Avaldisest (324) järeldub, et jääva mahtuvusega kondensaatorpatarei ebavõimsus on võrdeline rakendatud pinge ruuduga. Seepärast soovitatakse tänapäeval paigutada tööstusseadmete kondensaatorid enamasti alajaama kõrgepingepoolele.

Kondensaatorpatarei mahtuvuse vähendamiseks ühesuguse ebavõimsuse korral ühendatakse kondensaatorid mitte tähte, vaid kolmnurka, sest kolmnurklülituses on faasipinge $\sqrt{3}$ korda kõrgem ja seega ka kondensaatorpatarei võimsus 3 korda suurem.

Väikeste võimsuste korral lahendatakse kondensaatorite paigutamise küsimus (kas kõrgepinge- või madalpingepoolele) majandusliku arvutusega.

Kondensaatoreid paigaldatakse võimsusteguri individuaalseks ja rühmiti kompenseerimiseks. Põllumajandusseadmetes (näiteks töökojas) soovitatakse rühmakompensatsiooni, mille puhul kondensaatorpatarei paigutatakse töökoja peajaotuskilbi juurde ja ta teenindab kõiki mootoreid.

Rühmiti kompenseerimisel tühjendatakse kondensaatoreid läbi takistite r, mis ühendatakse kondensaatorpatareiga rööbiti (joon. 104). Takistitena kasutatakse tavaliselt hõõglampe.

Kõrgepingekondensaatorite tühjendustakistitena (pingel 3000... ...6000 V) kasutatakse südamikuga ja südamikuta induktiivpoole (lülitus on sarnane joonisel 104 kujutatuga).

Kõrgepinge- ja madalpinge-kondensaatorseadmetes peab tühjendustakistus olema selline, et ühe minuti jooksul pärast kondensaatorite väljalülitamist alaneks pinge kondensaatorpatarei klemmidel 50 voldile. Kondensaatorid ja tühjendustakistid paigutatakse metallalusele ning kõik kondensaatorite, tühjendustakistite ja teiste aparaatide kestad maandatakse metallaluse kaudu.

VII PEATÜKK

ELEKTRIMOOTORITE JUHTIMIS- JA KAITSEAPARATUUR

§ 1. Üldmõisteid

Juhtimisaparatuuri ülesandeks on elektriajamite käivitamine, seiskamine, reverseerimine ja pidurdamine, samuti nende töötamise võimaldamine kindlaksmääratud olukordades vastavalt töömasinate ja mehhanismide poolt sooritatavate tootmisprotsesside nõuetele.

Elektriajamite arengu algaegadel juhiti neid käsitsi, tänapäeval aga minnakse üle automaatjuhtimisele. See on seletatav asjaoluga, et automatiseerimine vabastab töölise paljudest juhtimisvõtetest, hõlbustab tema tööd ning tagab suurema tööviljakuse ja toodangu parema kvaliteedi.

Kui elektriajameid juhitakse käsitsi, kasutatakse selleks käsitsijuhtimise ehk mitteautomaatset aparatuuri: vinnaklüliteid, pakettlüliteid, ümberlüliteid, kontrollereid, reostaate. Automaatjuhtimiseks kasutatakse kontaktoreid, magnetkäiviteid, mitmesuguseid releesid ja käsklusaparaate.

Elektrilisteks juhtimis- ja kaitseaparaatideks nimetatakse elektrotehnilisi seadeldisi või mehhanisme, mis on määratud elektriliste ja mitteelektriliste objektide ning vooluringide iseloomustussuuruste käsitsi või automaatseks mõõtmiseks, reguleerimiseks ja kontrollimiseks.

Kogu aparatuur liigitatakse juhtimisviisi, otstarbe, talitlusolukorra ja keskkonna eest kaitstuse viisi järgi.

Juhtimisviisi järgi jaguneb aparatuur kahte liiki:

1) mitteautomaatsed juhtimisaparaadid, mis seatakse ümber käsitsi;
2) automaatsed juhtimisaparaadid, mis tegutsevad vastava ajendi mõjul.

Otstarbe järgi. Sõltuvalt olukorrast, milles vooluring lülitub, jaguneb aparatuur nelja liiki:

1) vooluringi lülitamiseks pingestatud, kuid vooluta olukorras;
2) vooluringi lülitamiseks pingestamata olukorras;
3) vooluringi lülitamiseks (täis-, ala- või üle-) koormusel;
4) vooluringi lahutamiseks katkestamise jaoks määratud panuse purustamisega.

Talitlustingimuste järgi. Aparaadid:

1) kestvaks talitluseks,
2) lühiajaliseks talitluseks,
3) vaheajaliseks talitluseks.

Keskkonna eest kaitstuse viisi järgi jaguneb aparatuur viide liiki:

1) lahtise ehitusega — voolu juhtivad osad on katmata ja puudutamiseks ligipääsetavad;

2) kaitstud ehitusega — on olemas kate või muu seadeldis, mis takistab voolu juhtivate osade puudutamist;

3) kinnise ehitusega — kattel on tihend, mis tõkestab tolmu ja mustuse sissepääsu;

4) hermeetilise ehitusega — on olemas tihend, mis tõkestab niiskuse sissepääsu;

5) plahvatusohutu ehitusega.

§ 2. Käsitsijuhtimisaparatuur

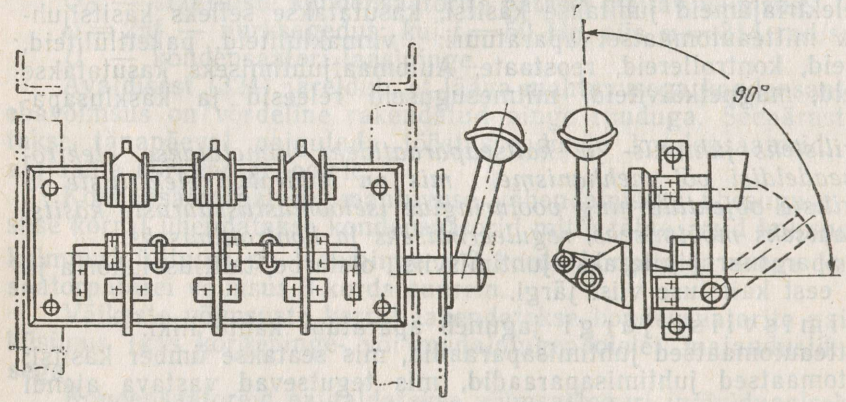
See aparatuur on määratud alalis- või vahelduvvooluringide käsitsi sisse- ja väljalülitamiseks pingel kuni 500 V.

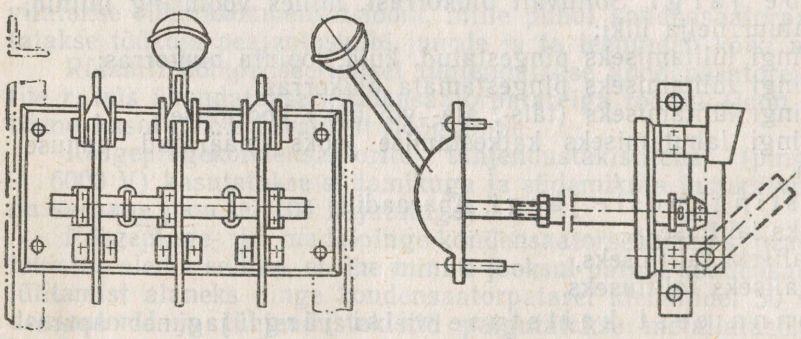
Vinnaklülitid on lihtsaimad alalis- ja vahelduvvooluringide sisse- ja väljalülitamiseks määratud aparaadid nimivoolule kuni 1000 A. Vinnaklüliteid on ühe-, kahe- ja kolmepooluselisi.

Käsitsemisviisi poolest eristatakse kesk- ja külgkäepidemega ning kesk- ja külghoobajamiga vinnaklüliteid, juhtmete külgeühendamise viisilt aga on neid olemas eest- ja tagantpoolt ühendamiseks (joon. 105 ja 106).

Kui vinnaklüliti paigaldatakse lahtisele paneelile, peab ta ohutuse tagamiseks olema kaetud kaitsekattega.

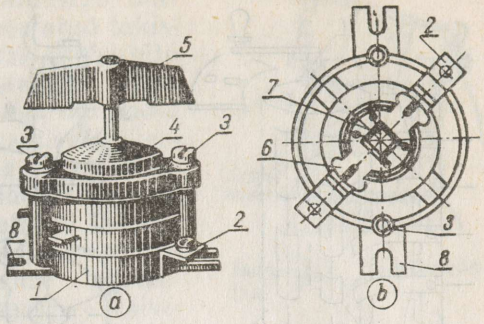
Pakettlülitid (joon. 107) on määratud vooluringide sisse- ja väljalülitamiseks. Neid kasutatakse käivitusaparaatidena lühisrootoriga asünk-





Joon. 105. Ühtlussarja kolmepooluseline külgkäepidemega vinnaklüliti

Joon. 106. Ühtlussarja kolmepooluseline keskhoobajamiga vinnaklüliti



Joon. 107. Pakettlüliti:
a — üldvaade; *b* — poolus (pealtvaates); *1* — pakett; *2* — kruviklemm; *3* — polt; *4* — kaas; *5* — käepide; *6* — liikuv kontakt; *7* — võll; *8* — kinnituskõrv

roonmootorite vahetuks võrku lülitamiseks, lülititena ja ümberlülititena juhtimis- ja signalisatsioonivooluringides. Lüliti koosneb pakettidest. Iga paketi moodustab isoleerümbrisesse mahutatud kontaktseadis. See koosneb ühe pooluse jaoks määratud lülitamisnoast, mis kontaktplaatidevahelise vooluringi sulgemiseks või avamiseks pöördub 90° võrra.

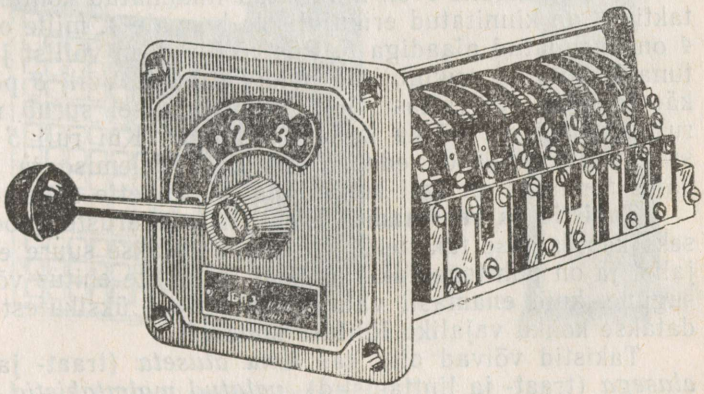
Toodetakse ühe- ja mitmepooluselisi pakettlüliteid (nimivoolule 10, 25, 60, 100, 250 ja 400 A, pingele 220 V). Kui pinge on 380 V, tuleb nimivoolu 40% võrra nõrgendada.

Nupplülitid on määratud väikese võimsusega elektrimootorite juhtimiseks (alalisvoolumootorid võimsusega kuni 0,25 kW ja pingele 220 V ning vahelduvvoolumootorid vastavalt kuni 4 kW ja 500 V).

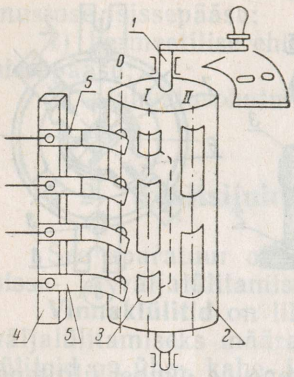
Plastmasskerega nupplüliti, mis on kinnitatud portselanalusele, koosneb kontaktidest, kaarekustutuskambrist ning sisse- ja väljalülitamisnuppudest. Selleks et vooluringi sulgeda, tuleb vajutada sisselülitamisnupule. See paneb liikuma hoobliigendmehhanismi, mis vajutab liikuvate kontaktide lehtvedrudele, mille tulemusena liikuvad ja liikumatud kontaktid kokku lülituvad. Väljalülitamisnupule vajutamisel viib selle nupuga ühendatud hoob mehhanismi algasendisse tagasi.

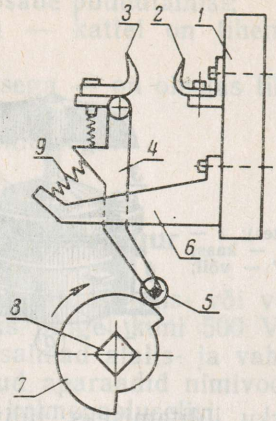
Trummellülitid ja -ümberlülitid on määratud vahelduvvoolu ümberlülitamiseks juhtimis- ja signalisatsioonivooluringides. Nad on kasutatavad ka käsikäivititena. Neid aparaate kasutatakse seal, kus on vaja korraga mitut vooluringi lülitada.

Trummellülititel ja -ümberlülititel on liikumatud ning liikuvad kontaktid. Liikumatud kontaktid on kinnitatud latile klemmidega, mille külge



Joon. 108. Trummelümberlüliti üldvaade





Joon. 109. Trummelkontrolleri ehitus:
1 — käepide; *2* — trummel; *3* — segment; *4* — isoleertugi; *5* — klemmid

Joon. 110. Nukk-kontrolleri skeem:
1 — isoleerplaat; *2* — liikumatu kontakt; *3* — liikuv kontakt; *4* — hoob; *5* — rull; *6* — plaat; *7* — nukk-ketas; *8* — võll; *9* — vedru

ühendatakse juhtmed. Liikuvad kontaktid on kinnitatud trumlile. Sõltuvalt lülitusest on neil mitmesugune kuju.

Joonisel 108 on kujutatud trummelümberlüliti üldvaade. See lüliti on määratud selliste elektrimootorite sisse- ja väljalülitamiseks, mille võimsus on kuni 3 kW ja pinge 380 V.

Joonisel 109 on kujutatud trummelkontroller, mis on määratud alalis- ja vahelduvvoolumootorite käivitamiseks ning pöörlemissageduse reguleerimiseks. Kontroller koosneb kahest põhiosast — pöörlevast ja liikumatust. Pöörlev osa kujutab endast trumlit *2*, millele on vastavalt lülitusele kinnitatud teatud paigutuses vask- või pronkssegmendid *3*. Võlli otsas on ratas või käepide *1*, mille abil võlli pööratakse.

Liikumatu osa kujutab endast isoleertuge *4*, millele on kinnitatud klemmid *5* koos üksteisest isoleeritud vedrusõrmedega. Klemmide külge ühendatakse juhtmed. Selleks et vähendada lülitamisel tekkivat sädelemist, on kontrolleritel sädemekustutuspool, mis magnetiliselt kustutab elektrikaare. Trummelkontrollereid kasutatakse lülitamissageduseni 120 lülitust tunnis.

Suuremal lülitamissagedusel kuluvad kontaktid nii palju, et liikuvate ja liikumatute kontaktide koormust tuleb vähendada. Neil juhtudel on otstarbekas kasutada veerekontaktidega nukk-kontrollereid, mis taluvad märgatavalt suuremaid lülitamissagedusi.

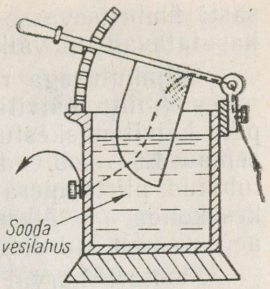
Joonisel 110 on kujutatud nukk-kontrolleri skeem.

Isoleerplaadile *1* on kinnitatud liikumatud kontaktid *2*. Liikuvad kontaktid *3* on kinnitatud erikujulisele hoovale *4*, mille otsas on rull *5*. Hoob *4* on ühendatud plaadiga *6*. Püstvõllile *8* on võllist ja üksteisest isoleerituna kinnitatud erikujulised nukk-kettad *7*. Võlli *8* pööratakse kontrolleri käepidemest või rattast. Võlli *8* pööramisel surub nukk-ketas rullile *5*, rull aga veereb mööda ketta välispinda. Kui rull *5* satub väljalõikesse, sulguvad kontaktid vedru *9* mõjul. Sädelemise ja kontaktide põlemise vähendamiseks on igal kontaktipaaril omaette sädemekustutuspool.

Takistid ja reostaadid. Elektriliste suuruste (voolu, pinge) muutmiseks kasutatakse takisteid, mis valmistatakse suure eritakistusega materjalist ja on puhttegevtakistuslikud. Takistite ehitus võib olla väga mitmesugune, kuid enamasti valmistatakse nad üksikutest lülidest, mis ühendatakse kokku vajaliku lülituse kohaselt.

Takistid võivad olla kas *ilma aluseta* (traat- ja linttakistid), *jäiga alusega* (traat- ja linttakistid), *valatud malmtakistid* või *stantsitud terastakistid*.

Takistussalv koosneb mitmest omavahel kokkuühendatud üht tüüpi lülist ja moodustab ühtse terviku. Kui üksikutest lülidest koostatud takistil on käsitsi või automaatselt juhitav ümberlülitamisseadis, nimetatakse seda reostaadiks. Oma otstarbelt võivad need olla: *käivitusreostaadid* (mootori käivitamiseks ja voolu piiramiseks ülesjooksu vältel), mis on arvutatud lühiajalisele talitlusele; *reguleerreostaadid* (vooluringides voolu või pinge reguleerimiseks), mis on arvutatud kestvale talitlusele; *käivitus-reguleerreostaadid* (mootorite käivitamiseks ja pöörlemissageduse reguleerimiseks), mis koosnevad kahest osast — käivitus- ja reguleerosast; *koormusreostaadid* (koormuse reguleerimiseks elektrimasinate katsetamisel), mis on arvutatud kestvale talitlusele; *ergutusreostaadid* (elektrimasinate ergutuse reguleerimiseks), mis on arvutatud kestvale talitlusele.



Joon. 111. Vedelikreostaat

Materjali järgi liigitatakse reostaadid metallreostaatideks, mis on kõige enam levinud ja hõlpsasti mitmesuguste töötingimuste jaoks kohandatavad, ning vedelikreostaatideks, mida kasutatakse peamiselt suure võimsusega vahelduvvoolumootorite käivitusreostaatidena.

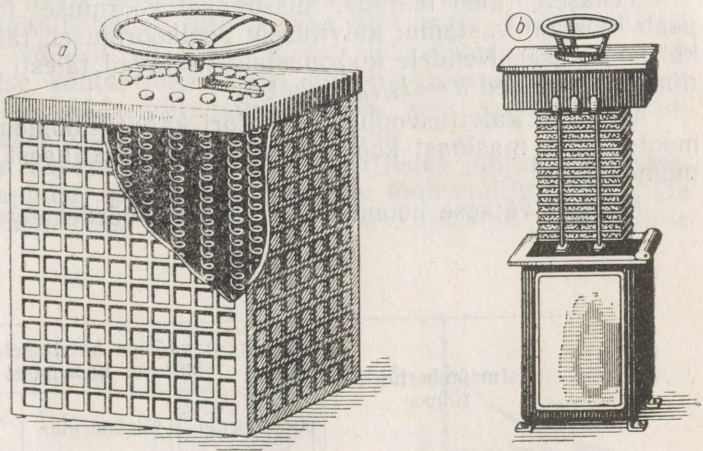
Põhiliselt on tänapäeval kasutusel metallreostaadid.

Vedelikreostaate, mille materjaliks on sooda 10...15% vesilahus, valmistatakse ainult võimsate (100...200 kW ja üle selle) mootorite käivitamiseks. Põllumajanduses kasutatakse väikese võimsusega vedelikreostaate (joon. 111) metallreostaatide riknemisel.

Toodetakse lahtise, kaitstud, poolkaitstud ja kinnise ehitusega reostaate.

Jahutusviisilt võivad käivitusreostaadid olla kas õhk-, õli-, vesi- või liivtäidisega. Õhk- ja õlijahutusega reostaadi üldvaade on kujutatud joonisel 112.

Õhkjahutusega reostaadid võivad soojeneda temperatuurini 250... ...300° C. Jahutusõhu küllaldase ringluse korral saab neist soojus hõlp-



Joon. 112. Reostaatide üldvaated:
a — õhkjahutusega reostaat; *b* — õlijahutusega reostaat

sasti ümbritsevasse keskkonda siirduda. Hea soojussiirde tõttu on nad kasutatavad nii väikese kui ka suure lülitamissageduse korral.

Õlijahutusega reostaate kasutatakse harva käivitatavates elektriajamites (mille käivitamissagedus on 2...5 käivitust tunnis) mitte eriti pika käivitamiskestuse puhul. Õlireostaadid on õhkreostaatidest kompaktsemad. Eriti sobivad nad niisketes ja tolmustes ruumides. Õli soojenemise lubatud piirtemperatuur on 80° C. Et nende soojussiire ümbritsevasse keskkonda on väikese pindala tõttu väike, siis jahtuvad nad mitu korda aeglasemalt kui õhkjahutusega reostaadid.

Mootori harval käivitamisel niisketes ja tolmustes ruumides võib kasutada odavamaid — liivtäidisega reostaate. Nad täidetakse puhta mittehügroskoopse kvartsliivaga. Liiva kõrgeim lubatud temperatuur kahe takistuslüli vahel on nendes reostaatides 150° C.

Õhk- ja õlijahutusega reostaatide korral ei tohi käivituste arv tunnis ületada 3...5. Väiksem arv kehtib väikese võimsusega mootorite ja suurem arv võimsate mootorite kohta. Reostaate iseloomustab oluliselt ka võime taluda mitut käivitust järjest. Õhk- ja õlijahutusega reostaadid võimaldavad kuni kolme käivitust järjest. Vaheaeg kahe järjekordse käivituse vahel ei tohi olla lühem kui kahekordne käivitamiskestus (15...30 s).

Käivitusreostaadi valik. Käivitusreostaadi üksikute lülide ja ka selle üldmõõtmed on määratud soojenemisega. Mida rohkem käivitusreostaadis ajaühikus soojust eraldub, seda suuremad on tema mõõtmed. Reostaadil peab olema küllaldane soojusmahutavus, et tema üksikute lülide temperatuur ei ületaks käivituse kestel normidega lubatud väärtust, ja selline soojussiire, et reostaat jõuaks vaheaegade kestel normaalselt jahtuda.

Liigkuumenemine põhjustab õhkjahutusega reostaatides takistuslülide läbipõlemist, õlijahutusega reostaatides aga õli keemist ja süttimist.

Reostaadi valikul leitakse käivitamiskestus kogemusliku valemiga

$$t_k = 4 + 2\sqrt{P_n} \text{ s}, \qquad (325)$$

kus P_n on mootori nimivõimsus kW.

Paljude ajamite kohta on suurused t_k ja h (käivituste arv tunnis) vabalt valitavad, mootori võimsus P_n aga on tavaliselt antud.

Tehasele tuleb teatada, missugusel koormusel toimuvale käivitusele peab reostaat vastama: käivitusele poolkoormusel, täiskoormusel või raskel koormusel. Nendele koormustele vastavad täiesti kindlad käivitus- ja nimivoolu suhted $k = I_k/I_n$ (tabel 9).

Vajaliku käivitusvoolu ja mootori käivitusmomendi väärtus sõltuvad mootorist ja masinast koosneva süsteemi staatilisest ning dünaamilisest momendist.

Mõnede väikese hoomassi ja väikese hõõrdekaoga masinate ja sead-

Tabel 9

Astmeümberlüliti tüüp	Teguri k väärtus käivitusele mitmesugusel koormusel		
	poolkoormus	täiskoormus	raske koormus
Lamelüliti	0,65	1,3	1,7
Trummellüliti	0,75	1,3	2,0

mete ülesjooks võib toimuda poolkoormusel (käivitusvool lamereostaadi korral mitte üle $0{,}65I_n$). On olemas ka selliseid masinaid ja seadmeid, mille staatiline ja dünaamiline takistusmoment on nii suur, et nende ületamiseks on vaja käivitusvoolu $(2 \ldots 2{,}5)I_n$. Sel juhul tuleb valida reostaat raskel koormusel käivituse jaoks.

Allpool on loetletud mõned masinad ja seadmed, mis on ligikaudse ettekujutuse saamiseks käivituse raskuse järgi rühmitatud.

Poolkoormusel käivituvad ventilaatorid, tsentrifugaalpumbad, enamik metallilõikepinke (hoorattata), ketassaed. Täiskoormusel käivituvad transmissioonid, kolbpumbad ja -kompressorid (käivitamisel ilma vastusurveta), pressid, mõned tööpingid. Raskel koormusel käivituvad köisteed, transportöörid, augulöömispingid, stantsid ja käärid (hoorattaga), viljapeksumasinad, koorelahutid, kolbpumbad (vastusurvega), savisõtkurid.

Kataloogides on käivitusreostaadid antud tavaliselt kahele koormusele: pool- ja täiskoormusele.

Käivitusreostaatide tellimisel on vaja neisse paigutatavate takistite valimiseks teatada mootori võimsus, pinge ja koormus (täis- või poolkoormus).

Raskete käivitustingimuste jaoks arvutatakse täiskoormusele määratud reostaadi võimsus.

Õhk- või õlijahutusega reostaadi tellimisel tuleb teatada elektrimootori tüüp ja võimsus, tööpinge, käivitustingimused (täis-, raskel või poolkoormusel). Asünkroonmootorite kohta on vaja teatada mootori rootori andmed:

U_2 — rõngastevaheline pinge seisva rootori korral;

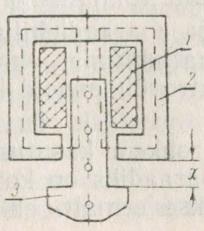
I_2 — rootorivool mootori nimikoormusel.

Kontrolleriga reostaatide tellimisel on vaja veel teatada käivituste arv tunnis.

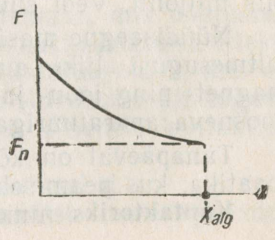
Käivitus-reguleerreostaadid kujutavad endast käivitus- ja ergutusreostaadi kombinatsiooni, väliselt aga sarnanevad nad käivitusreostaatidega. Reostaadi kaanele märgitakse käepideme asendid, mis vastavad mootori käivitamisele ja ergutuse reguleerimisele.

Käivitus-reguleerreostaadi kasutamisel tuleb meeles pidada, et selle reostaadi käivitustakisti lülid pole arvutatud voolu kestvale läbimisele. Seepärast ei tohi käivitus-reguleerreostaadi reguleerosa kontaktidel kauem peatuda kui valemiga (325) arvutatud käivituskestuse ulatuses või koguni jätta kas või osagi käivitustakisti lülisid välja lülitamata. Käivitustakisti väljalülitamata lülid võiksid sel juhul kiiresti läbi põleda. Mis puutub ergutuse reguleerimise kontaktidesse, siis ükskõik missugusele nendest võib reostaadi käepide jääda piiramatuks ajaks, sest ergutusreostaadi takistuslülid arvutatakse voolu kestvale läbimisele.

Elektromagneteid kasutatakse ajamite elektrilistes juhtimislülitustes. Neid kasutatakse klappide, siibrite, mehaaniliste ümberlülitite, ventiilide ja piduriklotside käitamiseks. Joonisel 113 on kujutatud ühefaasiline



Joon. 113. Ühefaasiline elektromagnet:
1 — pool; *2* — magnetjuhe; *3* — ankur



Joon. 114. Elektromagneti tõmbetunnusjoon

elektromagnet, mis koosneb poolist *1*, terasplekist valmistatud magnetjuhtmest *2* ja ankrust *3*. Kui pooli läbib vool, tekib magnetvoog, ankur (südamik) magneetub ja tõmbub pooli sisse, tõmmates endaga kaasa ankru kõrva külge kinnitatud seadeldise.

Ankru sisse tõmbudes pooli läbiva vahelduvvoolu tugevus muutub, sest elektromagneti ankru ja magnetjuhtme vahelise õhupilu vähenemisega suureneb pooli induktiivsus ja järelikult kasvab ka poolis tekkiv endainduktsiooni-elektromotoorjõud. Ankru sisse tõmbudes muutub ka tõmbejõud. Kõverat, mis kujutab ankru tõmbejõu *F* sõltuvust ankrukäigust, nimetatakse tõmbetunnusjooneks. See on kujutatud joonisel 114. Tõmbejõud on ankru liikumise lõpul 1,5...2 korda tugevam tõmbejõust ankru liikumise algul.

Tõmmatava ankruga elektromagneteid toodetakse nimitõmbejõule umbes 15...250 N (1,5...25 kgf), kaasa arvatud ka ankru tõstmiseks vajalik jõud, ning ankru nimikäiguga 25, 30 ja 50 mm. Peale tõmbeelektromagnetite on olemas veel tõukavad elektromagnetid. Elektritööstus toodab ka pidurduselektromagneteid, mida kasutatakse kiireks ja täpseks seiskamiseks.

Tõste- ja transpordimehhanismide ajamite elektrimootoritel on pidurduselektromagnetid, mis ühendatakse elektrimootori juhtimislülitusse nii, et mootori käivitamisel vabastab elektromagnet piduriklotsid, normaalse või avariiseiskamise korral aga piduriklotsid rakenduvad, peatavad mootori ja hoiavad koorma liikumatus asendis seni, kuni mootor on välja lülitatud.

Pidurduselektromagneteid valmistatakse nii alalis- kui ka vahelduvvoolule. Nad võib ühendada vooluringi jadamisi (jadaelektromagnetid) või rööbiti (rööpelektromagnetid). Jadaelektromagnetid rakenduvad kiiremini kui rööpelektromagnetid, kuid nende töötamine sõltub elektrimootori koormusest. Suure induktiivsuse tõttu rakenduvad rööpelektromagnetid aeglasemalt, nende töötamine aga elektrimootori koormusest ei sõltu.

Vahelduvvoolu-pidurduselektromagnetid on ühe- või kolmefaasilised. Nad on määratud ainult rööbiti ühendamiseks. Elektromagnetid valitakse kataloogi järgi vastavalt tõmbejõule, kusjuures arvestatakse ankrukäiku. Elektromagneti vajaliku tõmbejõu leidmisel tuleb arvestada kogu kasulikku tõmbejõudu, mida on vaja mehhanismi või piduriklotside käitamiseks ja ka ankru massist tingitud takistusjõu ületamiseks.

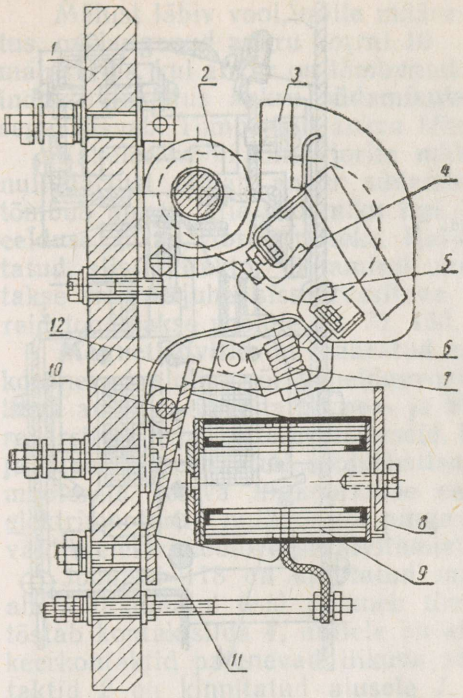
§ 3. Automaatjuhtimisaparatuur

Laialdane automaatjuhtimisaparatuuri kasutamine on tingitud mitte ainult sellest, et automatiseerimisel on tööstuse arendamises oluline koht, vaid ka sellest, et paljudel automaatjuhtimisaparaatidel on mitteautomaatsetega võrreldes eeliseid. Juhtimisaparaadiga sooritatavate lülitamiste arvu piirab aparaadi mehaaniline kulumine. Harilikel vinnaklülititel on see arv keskmiselt 5000 ja trummellülititel 25 000, kontaktoritel aga kuni viis miljonit. Veel suuremaid võimalusi pakub kontaktitu aparatuur.

Nüüdisaegne masina- ja aparaadiehituse arengutase lubab rakendada mitmesugust liiki automaatjuhtimist, kasutades selleks elektrimasin-, magnet- ning ioon- ja elektrovõimendeid koos releedest ja kontaktoritest koosneva aparatuuriga.

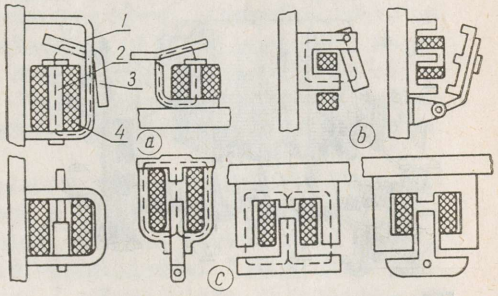
Tänapäeval on kõige rohkem kasutusel selline relee-kontaktor-automaatika, kus peamiseks aparaadiks on kontaktor.

Kontaktoriks nimetatakse eemalt- ehk distantsjuhtimisaparaati, mis



Joon. 115. Alalisvoolukontaktor:
1 — alus; *2* — kaarekustutuspool; *3* — kaarekustutuskamber; *4* — liikumatu kontakt; *5* — liikuv kontakt; *6* — vastukaal; *7* — vedru; *8* — ike; *9* — pool; *10* — ankru telg; *11* — ankur; *12* — liikuva kontakti painduv juhe

Joon. 116. Magnetsüsteemide ehitus:
a — klappmagnetsüsteem prismal pöörduva välisankruga; *b* — *U*- ja *E*-kujuline klappmagnetsüsteem teljel pöörduva välisankruga; *c* — solenoidmagnetsüsteem mähises sirgjooneliselt liikuva südamikuga (sirgkäiguline); *1* — ike; *2* — südamik; *3* — ankur; *4* — pool



on määratud vooluringi sagedaseks sisse- ja väljalülitamiseks. Sõltuvalt tööpõhimõttest eristatakse magnet-, pneumo- ja hüdrokontaktoreid.

Elektriajamite juhtimislülitustes on kõige enam levinud elektromagnetilised magnetkontaktorid. Need liigitatakse voolu järgi alalisvoolu- ja vahelduvvoolukontaktoriteks; pooluste arvu järgi — ühe-, kahe-, kolme-, nelja- ja viiepooluselisteks; kontaktide asendi järgi — sulguv- ja avanevkontaktidega kontaktoriteks; kontaktide otstarbe järgi — peakontaktidega ja blokeerkontaktidega kontaktoriteks; kontaktori mähise ühendamisviisi järgi — jada- ja rööpkontaktoriteks.

Joonisel 115 on kujutatud skemaatiliselt ühepooluseline alalisvoolurööpkontaktor. Elektromagneti pool *9* pingestub (joonisel näitamata) käivitusnupule vajutamisel, millega suletakse abivooluring. Niipea kui pooli keerde läbib vool, tõmbab pooli südamik ankru *11* ligi, mille tulemusena sulguvad kontaktori peakontaktid *4* ja *5* ning blokeerkontakt, mille ülesandeks on hoida pooli toitevooluring pärast käivitusnupu vabastamist suletuna.

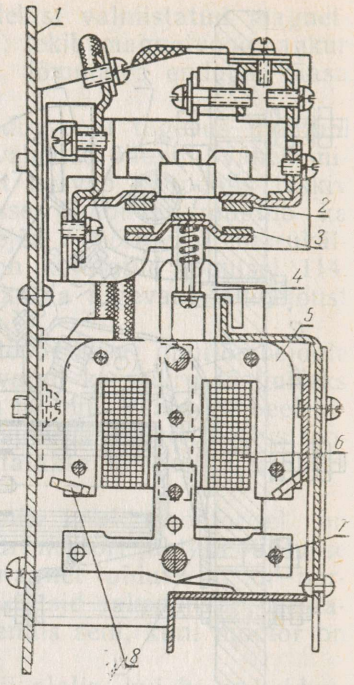
Kontaktor jääb sisselülitatuks, kuni pooli *9* läbib vool. Pooli läbiv vool katkestatakse tavaliselt kas seiskamisnupule vajutamisega või mingi relee toimel, mis avab mähise toiteringi. Pärast seda südamik demagneetub ning kontaktid *4* ja *5* avanevad kontaktori liikuva osa omakaalu mõjul, mida suurendatakse erilise vastukaaluga *6*.

Kontaktide avanemisel tekib nende vahel elektrikaar, mis põhjustab kontaktide tugevat põlemist, mõnikord aga ka nende kokkusulamist. Elektrikaare kustutamiseks on kontaktoril eriline kaarekustutuspool *2*, mis on ühendatud jadamisi peavooluringi ja mis tekitab elektrikaare all tugeva magnetvälja. Selle mõjul tõukub elektrikaar üles, pikeneb kontaktide vahel, nõrgeneb ja kustub kiiresti.

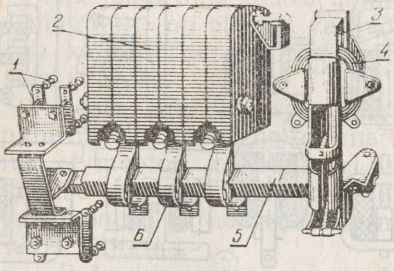
Alalisvoolu-rööpkontaktoreid on ühe- ja kahepooluselisi.

Kontaktoripooli mähisel on palju peenest traadist keerde ja suur

Joon. 117. Vahelduvvoolukontaktor:
1 — blokeerkontakt; *2* — kaarekustutuskamber; *3* — magnetjuhe; *4* — pool; *5* — telg; *6* — vooluviik



Joon. 118. Magnetkäiviti:
1 — alus; *2* — liikumatu kontakt; *3* — peakontaktid; *4* — kontaktsild; *5* — südamik; *6* — pool; *7* — ankur; *8* — lühiskeerd



takistus ning tavaliselt ühendatakse ta vahetult võrku. Sõltuvalt kontaktoriga lülitatava voolu tugevusest ja võrgupingest on magneetimisvoolu tugevus 0,27 ... 7,25 A ja kontaktori tarbimisvõimsus 55 ... 140 W.

Mõnedes lülitustes on pooli mõõtmete vähendamiseks ühendatud mähisega jadamisi takisti, mis alandab mähisele rakenduvat pinget. Mähisele antakse täispinge ainult sisselülitamisel, mil ankru ligitõmbamiseks on vaja tugevat voolu. Seejärel aga, kui kontaktor on juba rakendatud, lülitatakse mähisega jadamisi takisti, mis vähendab kadu ja kaitseb elektromagneti pooli liigkuumenemise eest.

Et elektromagneti mähist läbiv vool on nõrk, siis valitakse lülitamisnuppude juurde suunduvate juhtmete ristlõige tavaliselt väike, mis tunduvalt hõlbustab mootori eemaltjuhtimist.

Alalisvoolukontaktorite magnetsüsteem koosneb ikkest, südamikust ja ankrust ning võib olla mitmesuguse ehitusega. Mõned alalisvoolukontaktorite magnetsüsteemid on kujutatud joonisel 116: *a* — klappmagnetsüsteem prismal pöörduva välisankruga, *b* — *U*- ja *E*-kujuline klappmagnetsüsteem teljel pöörduva välisankruga; *c* — solenoidmagnetsüsteem poolis sirgjooneliselt liikuva südamikuga (sirgkäiguline).

Tasakaalustatud ankruga magnetsüsteeme võib kasutada rappuvates seadmetes. Nad on kõige sobivamad kasutamiseks liikuvates põllumajandusseadmetes.

Tõkestuse vähendamiseks on alalisvoolukontaktoritel ankru ja südamiku vahel väike õhupilu — maksimaalselt 10 mm.

Alalisvoolu-rööpkontaktoreid toodetakse vooludele 40, 75, 150, 300, 600, 1500 ja 2500 A, mida nendega võib lülitada kuni 1500 korda tunnis.

Joonisel 117 on kujutatud vahelduvvoolukontaktori üldvaade. Vahelduvvoolukontaktor erineb alalisvoolukontaktorist magnetsüsteemi ehituse poolest.

Teraskehas tekkivate pöörisvoolude vähendamiseks valmistatakse

vahelduvvoolukontaktorite magnetsüsteem üksikutest omavahel isoleeritud terasplekkidest.

Mähist läbiv vool, mille määravad rakendatav pinge ja mähise takistus, on langenud ankru korral 10 ... 15 korda tugevam voolust, mis läbib mähist siis, kui ankur on tõmbunud. See on seletatav asjaoluga, et mähise induktiivtakistus ankru südamikule lähenemisega ja õhupilu vähenemisega kasvab. Tõmbejõud ankru lähenedes oluliselt ei muutu.

Vahelduvvoolukontaktorite mähised on ühefaasilised. Voolu läbides nullväärtust püüab ankur südamikust eemalduda, voolu kasvades aga tõmbub ankur jälle südamiku ligi. Seega loob mähist läbiv vahelduvvool eelduse ankru vibreerimiseks. Kui magnetjuhe on lohakalt kohale kinnitatud, siis kontaktor töötamisel undab. Vibreerimise vältimiseks varustatakse magnetjuhe sissepressitava lühiskeeruga. Vahelduvvoolukontaktoreid toodetakse voolule 40, 75, 150, 300 ja 600 A.

Magnetkäivitid on määratud elektrimootorite eemaltjuhtimiseks. Nad koosnevad alalis- või vahelduvvoolukontaktorist ning elektromagneti liikuva ankruga ühendatud pea- ja blokeerkontaktidest. Magnetkäiviteid on reversiivseid ja mittereversiivseid, kaitsekattega ja ilma, soojuskaitsmega ja ilma. Sisseehitatud soojuskaitsmega magnetkäivitid kaitsevad elektrimootoreid kestva liigkoormuse eest. Magnetkäiviti mähis moodustab elektrimootorile nullkaitsme pinge alanemisel või täielikul kadumisel, s. t. väldib elektrimootori isekäivitumist.

Joonisel 118 on kujutatud mittereversiivne magnetkäiviti. Magnetahela liikumatul osal paikneb tõmbepool *6*, milles liigub ankur *7*. See tõstab kontaktsilda *4*, millele on kinnitatud liikuvad peakontaktid *3*. Blokeerkontaktid paiknevad liikuva süsteemi kontaktsillal. Liikumatud kontaktid *2* on kinnitatud alusele *1*. Ankru *7* vibreerimise vältimiseks on magnetsüsteemil kaks lühiskeerdu *8*.

Magnetkäiviteid toodetakse viies suuruses. Neid on nii lahtise kui ka kaitstud ehitusega. Nad on ette nähtud 1,7 ... 37 kW ja 220 V ning 1,7 ... 55 kW ja 380 V asünkroonmootorite juhtimiseks.

Väikese võimsusega (kuni 1,1 kW, pinge kuni 380 V) lühisrootoriga asünkroonmootorite juhtimiseks kasutatakse väikesemõõtmelisi magnetkäiviteid, mis on arvestatud kestvaks talitluseks pingel 85 ... 105% nimipingest. Neil magnetkäivititel on neli sulguv- või avanevkontakti ning magnetsüsteem, mis koosneb südamikust, ankrust ja poolist. Nende iga on kolm miljonit lülitust.

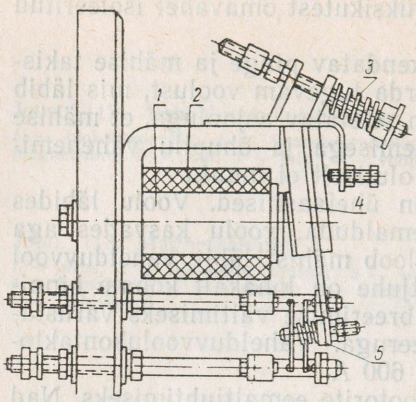
Relee kujutab endast seadist, mis suleb või avab oma kontaktid teatud suuruse mõjul, millele ta on arvestatud (vool, pinge, aeg).

Otstarbe järgi eristatakse juhtimis-, kaitse- ja signalisatsioonireleesid. Tegutsemispõhimõtte järgi võivad releed olla akustilised, optilised, elektrilised, mehaanilised, keemilised ja soojuslikud.

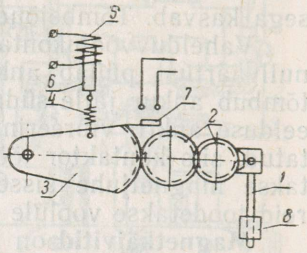
Elektromagnetviitrelee, mille üldvaade on kujutatud joonisel 119, on määratud alalisvooluringi ühendamiseks — käivituse juhtimiseks teatava viivitusega. Selle relee kontaktid paigutuvad ümber mehaanilise jõu mõjul, mida tekitab relee pooli läbiva vooluga ergutatav magnetväli. Elektromagnetviitrelee viivitus tekib magnetvoo aeglase kadumise tõttu magnetsüsteemis pärast pooli pingest vabastamist või sildamist.

Viivituse määrab ajavahemik, mis möödub pooli väljalülitamisest (või sildamisest) kuni voolu ja magnetvoo nõrgenemiseni sellise väärtuseni, mille puhul relee ankur südamikust eemaldub.

Mõningane viivituse reguleerimine on võimalik relee südamiku ja ankru vahelise mittemagnetilise vahelehe paksuse või vedru pinguse muutmisega.



Joon. 119. Elektromagnetviitrelee üldvaade:
1 — südamik; *2* — pool; *3* — vedru; *4* — ankur; *5* — kontaktsild



Joon. 120. Pendelaegrelee skemaatiline kujutis:
1 — pendel koos ankruga; *2* — hammasrattad; *3* — hammassektor; *4* — vedru; *5* — solenoidi; *6* — südamik; *7* — kontaktsild; *8* — seademutter

Toodetavate elektromagnetviitreleede rakendumiskestused on 0,15 ... 5 s.

Pendelaegreleed kasutatakse automaatjuhtimislülitustes kas elektromagnetiga või kontaktoriga käitatuina. Skemaatiliselt on kujutatud pendelaegrelee joonisel 120. See relee koosneb pendlist *1* koos ankruga, hammasratastest *2*, hammassektorist *3*, vedrust *4*, solenoidpoolist *5*, südamikust ja kontaktsillast *7*.

Solenoidi *5* vooluringi sulgumisel tõmbub südamik *6* pooli sisse, pinguldades sektoriga *3* ühendatud vedru *4*. Hammassektor hambub hammasratastega *2*, käivitab ankru koos pendliga *1*, millel on seademutter *8*. Ankur hakkab võnkuma ja iga võnkega pöörab temaga hambuvat hammasratast.

See liikumine toimub seni, kuni hammassektor *3* väljub hambumisest hammasrattaga *2*. Pärast hambumisest väljumist pöördub sektor kiiresti ja suleb kontaktsillaga *7* relee sulguvad kontaktid. Aeg, mis möödub solenoidi vooluringi sisselülitamisest kuni kontaktide sulgumiseni, määrab relee viivituse ehk rakendumiskestuse. Selliste releede rakendumiskestus on 1 ... 5 s.

Relee häälestamiseks teatud viivitusele muudetakse hammasrattaga hambuva sektori hammaste arvu või nihutatakse seademutrit *8*.

Nende releede eelisteks on ehituse lihtsus ja hõlpus paigaldatavus, nii alalis- kui ka vahelduvvooluringides kasutatavus, viivituse seadmise võimalus, sõltumatus pinge ja temperatuuri kõikumistest. Puudusteks on hammasülekannete kiire kulumine, suur hõõrdekadu, vajadus paigutada relee rangelt püstasendisse.

Pendelaegreleed taluvad 100 000 ja enam lülitust.

Pneumoaegrelee võimaldab saavutada viivitusi 5 ... 180 s. Pneumoaegreleed koosnevad solenoidist, silindrist ja kolvist. Silindris on gaas (õhk). Silindril on möödavoolutoru, kolvis aga on seadeava. Kui solenoidi läbib vool, tõmbub südamik pooli sisse ja tõmbab endaga kaasa ka kolvi. Seejuures ületab kolb silindris oleva õhu takistuse.

Õhk paigutub silindri ülemisest osast ümber alumisse kiiremini või aeglasemalt sõltuvalt kolvis oleva ava suurusest, millega saavutatakse relee nõutav viivitus. Selle relee tegutsemistäpsust mõjustavad ümbritseva õhu saastatus (tolm) ja temperatuur.

Pneumoaegreleedega sarnanevad põhimõtteliselt ka **hüdroaegreleed.**

Väga suurte (15...40 min) viivituste saavutamiseks kasutatakse **mootoraegreleesid.** Nende põhiosaks on alalis- või vahelduvvoolu-pisimootor, mis reduktori kaudu käitab relee kontaktsüsteemi. Nende releede häälestamiseks teatud viivitusele muudetakse reduktori ülekandearvu.

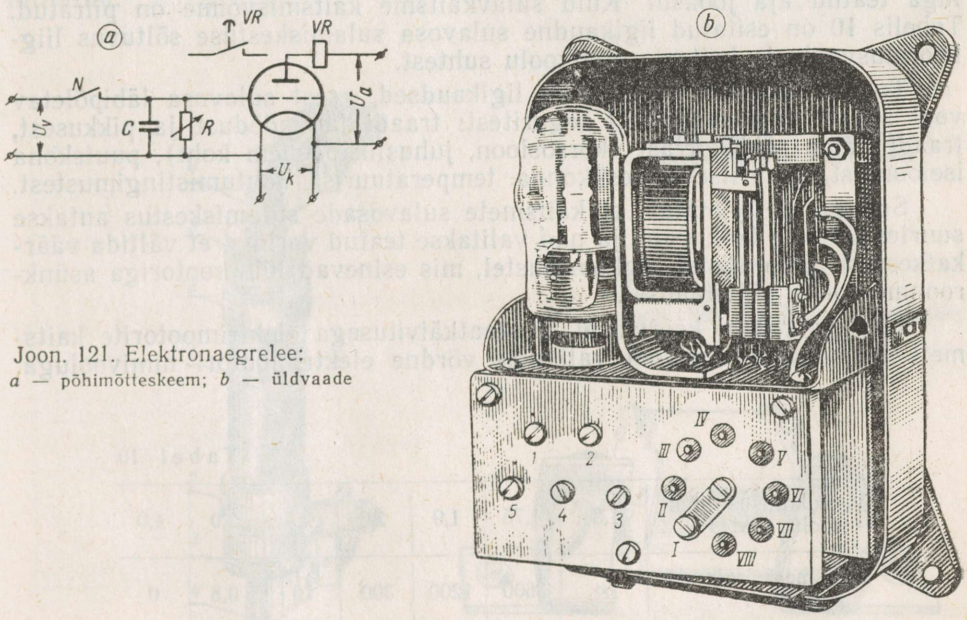
Elektronaegrelee kujutab endast kolme elektroodiga — anoodi, katoodi ja võrega — elektronlampi koos elektromagnet-vaherelee ja kondensaatoriga. Mingi negatiivse võrepinge ja vastava anoodpinge puhul võib saavutada olukorra, et anoodringis voolu pole. Selle kohta öeldakse: «Lamp on sueltud». Kui lambi võreringi (joon. 121,*a*) ühendada kondensaator *C* ja takisti *R*, siis antakse lüliti *N* sulgemisega võrele pinge. Nüüd kondensaator *C* laadub ja tema plaatidel tekib potentsiaalivahe, mis on võrdne võrepingega U_v.

Lüliti *N* väljalülitamisel lahutatakse elektronlambi võre toiteallikast ja kondensaator *C* hakkab tühjenema temaga rööbiti ühendatud takisti *R* kaudu. Pinge kondensaatori plaatidel hakkab alanema, mistõttu väheneb potentsiaalivahe võre ja katoodi vahel. Teatud võrepinge puhul lamp «avaneb» ja anoodahelas tekib vool, mis läbib vaherelee *VR* mähist; vaherelee rakendub ja tema kontaktid sooritavad vajalikud ümberlülitamised. Relee rakendumiskestust reguleeritakse takistiga *R*.

Elektronaegrelee üldvaade on kujutatud joonisel 121,*b*.

Taimtaktor on automaatjuhtimiseks määratud kombineeritud aparaat, mis ühendab endas kontaktori ja aegrelee omadused. Ta koosneb kontaktorist ja elektromagnetviitreleest. Viivitus saavutatakse samuti nagu aegreleelgi. Taimtaktorite kontaktoreid kasutatakse enamasti elektriajamite juhtimislülitustes kiirenduskontaktoritena käivitustakistite üksikute astmete lühistamiseks. Taimtaktoreid toodetakse ühe pooliga ja avanevkontaktidega ning kahe pooli ja sulguvkontaktidega. Ülemine pool on tõmbepool, alumine aga hoidepool.

Peale eespool kirjeldatute kasutatakse elektriajamite juhtimiseks veel väga mitmesuguseid aparaate ja seadiseid, kuid neid kõiki pole siin võimalik käsitleda.



Joon. 121. Elektronaegrelee:
a — põhimõtteskeem; *b* — üldvaade

§ 4. Elektrimootorite automaatkaitse

Mitmesuguste kaitsesüsteemide ülesanne seisneb selles, et ebanormaalsete töötingimuste tekkimisel lülitada mootor õigeaegselt võrgust välja ja seega ennetada elektrimootori isolatsiooni riknemist ning ajami ja töömasina mehaaniliste osade purunemist.

Elektrimootorit on vaja kaitsta lühisvoolude ja lühiajaliste järskude liigkoormuste eest, väikeste, kuid kestvate liigkoormuste eest, mootorite iseenesliku käivitumise eest võrgupinge taastumisel.

Lühisvoolud põhjustavad mähiste ja ühendusjuhtmete isolatsiooni riknemist ja võivad tekitada elektrimootoritele tõsiseid mehaanilisi vigastusi. Lühisvoolude eest kaitstakse sulavkaitsmetega või maksimaalvoolureleedega.

Lühiajalised ja järsud elektriajamite liigkoormused võivad olla ohtlikud töömasinale ning elektrimootorile. Kaitseks kasutatakse mitmesuguseid maksimaalreleesid. Väikesed, kuid kestvad elektrimootori liigkoormused põhjustavad mõnikord tema mähiste märgatavat, antud isolatsiooniklassi puhul lubamatut liigkuumenemist. Kaitstakse termoreleedega.

Mootorite iseeneslik sisselülitumine võib põhjustada tõsiseid kahjustusi. Selliseid lülitumisi välditakse mitmesuguste elektromagnetreleedega, vahelduv- ja alalisvoolukontaktoritega ning magnetkäivititega (niinimetatud null- ehk minimaalkaitse).

Põllumajanduses kasutatavate elektriajamite elektrimootoreid kaitstakse peamiselt sulavkaitsmete ja termoreleedega.

Sulavkaitsmed on ühed odavamad ja lihtsamad aparaadid elektrimootorite kaitsmiseks ohtliku liigkuumenemise eest lühisel, aga mõnikord ka järskude juhuslike liigkoormuste eest.

Väikese ja keskmise võimsusega elektrimootoreid kaitstakse korkkaitsmetega, suurtel võimsustel aga torukaitsmetega. Väljalülitavaks osaks on sulavkaitsmetes kergesti sulav traat, mis põleb läbi teatud vooluga teatud aja jooksul. Kuid sulavkaitsme kaitsmisvõime on piiratud. Tabelis 10 on esitatud ligikaudne sulavosa sulamiskestuse sõltuvus liigkoormusvoolu ja kaitsme nimivoolu suhtest.

Tabelis esitatud andmed on ligikaudsed, sest sulavosa läbipõletav vool sõltub väga paljudest teguritest: traadi läbimõõdust ja pikkusest, traadi pinna seisukorrast (korrosioon, juhuslik peenem koht), puutekoha iseloomust, ümbritseva keskkonna temperatuurist, jahtumistingimustest.

Sellega on seletatav, et kaitsmete sulavosade sulamiskestus antakse suurtes piirides kõikuvana ja nad valitakse teatud varuga, et vältida väärkatkestusi lühiajalistel liigkoormustel, mis esinevad lühisrootoriga asünkroonmootorite käivitamisel.

Täis- ja raskel koormusel reostaatkäivitusega elektrimootorite kaitsmete sulavosade nimivool valitakse võrdne elektrimootori nimivooluga.

Tabel 10

Voolukordsus nimivoolu suhtes . .	1,31	1,75	1,9	2,0	2,5	3,0	4,0
Kaitsme sulamiskestus s	∞	3600	1200	300	10	0,8	0

Kui standardjadas sobivat ei leidu, võetakse lähim tugevama nimivooluga kaitse.

Kontaktrõngas-elektrimootoritele, mis käivitatakse poolkoormusel, samuti lühisrootoriga mootoritele, mis käivitatakse kaitsmeid käivituse ajaks sildavate aparaatidega, võib soovitada kaitsmete sulavosi voolule $0{,}8I_n$ (I_n — elektrimootori nimivool).

Lühisrootoriga asünkroonmootoritele valitakse kaitsmete sulavosa järgmiste valemite alusel:

tavalistes käivitustingimustes (harvad käivitused, lühike ülesjooksukestus) $I_{sk} = I_k/2{,}5$.

raskete käivitustingimustega seadmetes (sagedased käivitused kestva ülesjooksuga) $I_{sk} = I_k/(1{,}6 \ldots 2)$,

kus I_{sk} on kaitsme sulavosa nimivool;

I_k — elektrimootori käivitusvool.

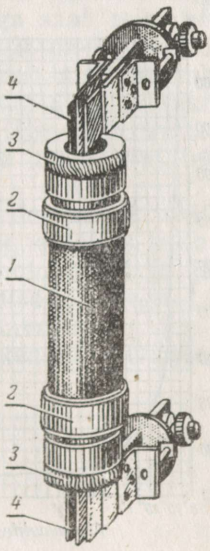
Joonisel 122 on kujutatud lahtivõetav, kinnise ehitusega, täidiseta torukaitse. Neid kaitsmeid toodetakse pingele kuni 550 V, sulavosaga voolule 6 kuni 1000 A.

Kaitse (joon. 122) koosneb järgmistest põhiosadest: kahest tugikontaktist *4*, mis võimaldavad juhtmete külgeühendamist eest- või tagantpoolt (joonisel on kujutatud sulavkaitse, mille tugikontaktide külge ühendatakse juhtmed tagantpoolt); fiibertorust valmistatud lahtivõetavast torust, mida ümbritsevad metallvõrud ja milles paikneb sulavosa.

Torukaitsmetel voolule kuni 60 A on silindrilised otskontaktid, kaitsmetel voolule 100 A ja üle selle aga lamedad nugakontaktid.

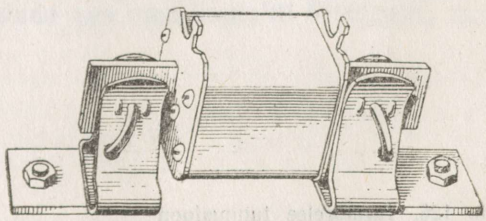
Toodetakse ainult ühepooluselisi kaitsmeid, kas asbesttsementplaadil või ilma selleta.

Täidisega sulavkaitse on kujutatud joonisel 123. Neid valmistatakse pingele kuni 500 V ja voolule 100 ... 600 A. Niisketes ja tolmustes ruumides, samuti väljas paigaldatakse kaitsmed niiskus- ja tolmutiheda ehitusega metallkasti, milles on kolmepooluseline vinnaklüliti ja kolm kaitset (joon. 124). Kaitsmete vahetamise ajaks peab vinnaklüliti olema välja lülitatud.



Joon. 122. Lahtivõetav torukaitse:
1 — fiibertoru; *2* — metallvõru; *3* — messingkapsel; *4* — tugikontakt

Joon. 123. Täidisega sulavkaitse



Kaitsereleed. Sulavkaitsmed ei ole võimelised elektrimootorit kaitsma kestvatel liigkoormustel, mis põhjustavad isolatsiooni kuumenemist üle lubatud määra, mille tulemusena isolatsioon enneaegselt rikneb ja elektrimootor lakkab töötamast. Seepärast kasutatakse automaatjuhtimise puhul usaldatavamaid kaitseaparaate. Nende hulka kuuluvad termoreleed, hetkeliselt rakenduvad elektromagnetilised minimaal- ja maksimaalreleed, elektromagnet- ja induktsioonviitreleed jt.

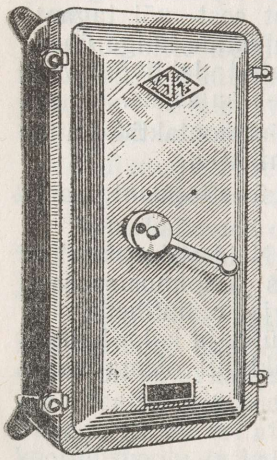
Liigkoormuse eest kaitsmiseks kasutatakse termoreleesid. Tajuriks on neis bimetallplaat. See koosneb kahest kokkukeevitatud kihist, kumbki metallist, millel on erisugune joonpaisumistegur.

Joonisel 125 on kujutatud termorelee skeem. Küttekeha *2* läbiv vool soojendab teda pidevalt ning bimetallplaat *4* kuumeneb ja paindub.

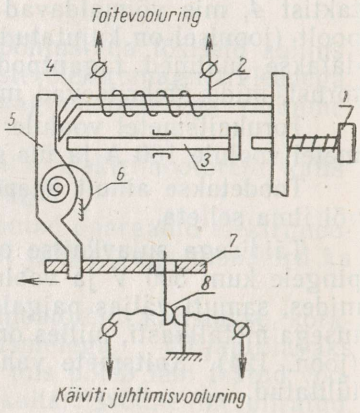
Tugeval kuumenemisel paindub bimetallplaat niivõrd, et väljub lingi *5* hambumisest. Viimane pöördub spriaalvedru *6* toimel paremale ja lahutab kontaktori mähise vooluringis oleva kontakti *8*.

Endisse asendisse läheb link *5* tagasi ennistusnupule *1* vajutamisel.

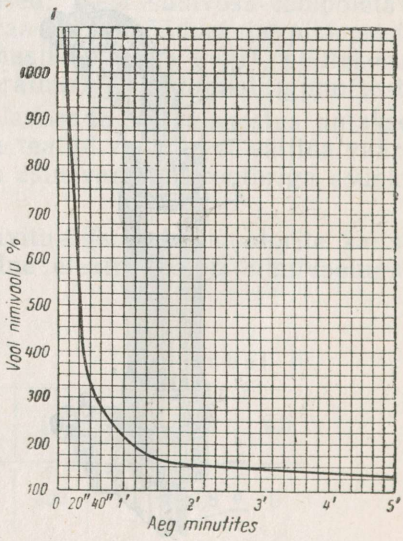
Tavaliselt on lahtihaakimismehhanism koostatud ja seatud selliselt,



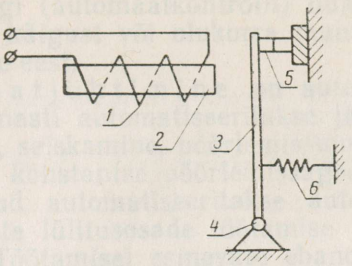
Joon. 124. Kast vinnaklüliti ja kaitsmetega



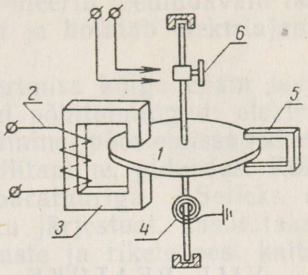
Joon. 125. Ühefaasilise termorelee skeem:
1 — ennistusnupp; *2* — küttekeha; *3* — varb; *4* — bimetallplaat; *5* — link; *6* — vedru; *7* — plaat; *8* — liikuv kontakt



Joon. 126. Termorelee tunnusjoon



Joon. 127. Hetkeliselt rakenduva elektromagnetrelee skeem:
1 — mähis; *2* — südamik; *3* — ankur; *4* — liigend; *5* — kontakt; *6* — vedru



Joon. 128. Induktsioonviitrelee skeem:
1 — alumiiniumketas; *2* — mähis; *3* — südamik; *4* — vedru; *5* — püsimagnet; *6* — kontakt

et mootori nimikoormusel ei välju link *5* bimetallplaadi hambumisest lõpmatult pika aja jooksul, 150%-lise nimikoormusega võrduval liigkoormusel toimub aga lahtihaakumine 2 ... 2,5 min jooksul.

Joonisel 126 on esitatud termorelee tunnusjoon. Relee valitakse nii, et tema soojenemistunnusjoon oleks ligilähedane kaitstava elektrimootori soojenemiskõverale. Siis rakendub relee õigeaegselt mootori igal liigkoormusel. Järskude lühiajaliste liigkoormuste ja lühiste puhul termorelee kohe ei rakendu. See on ühest küljest hea, sest nii välditakse mootori mittevajalikke väljalülitamisi mootori lühiajalistel, ohututel koormustõugetel. Teisest küljest aga on see ohtlik, sest lühiste puhul mitterakendumine võib põhjustada relee enda ja teiste toitevooluringi jadamisi ühendatud seadiste riknemist. Seepärast kasutatakse koos termoreleega ka sulavkaitsmeid, mis kaitsevad seadet ja termoreleed lühiste eest.

Joonisel 127 on kujutatud hetkeliselt rakenduv elektromagnetrelee skeem. See relee koosneb mähisest *1*, terassüdamikust *2*, liigendile *4* kinnitatud rippuvast ankrust *3*, kontaktist *5* ja tõmbevedrust *6*. Kui mähist läbib vool, siis südamik magneetub ja püüab ankru ligi tõmmata ning relee suletud kontakti avada. Seejuures mõjuvad ankrule teineteisega vastupidiselt ankru massist tingitud omakaal ja vedru tõmbejõud. Vedru pinguldamisega saab relee häälestatust seada.

Joonisel 128 on kujutatud induktsioonviitrelee skeem.

See koosneb alumiiniumkettast *1*, poolist *2*, südamikust *3*, vedrust *4*, püsimagnetist *5* ja kontaktist *6*.

Pooli *2* läbiva ja kettas *1* indutseeritud voolude poolt tekitatud magnetväljade koostoimel tekib pöördemoment, mis püüab ketast pöörata.

Vastupöördemoment tekitatakse vedruga *4*. Ketta pöördumisel püsimagneti *5* magnetväljas tekib täiendav pidurdusmoment. Kettas indutseeritud elektromotoorjõud ja järelikult ka pidurdusmoment on võrdelised ketta pöördumise kiirusega. Lühiajalistel liigkoormustel ei jõua ketas süsteemi summutava toime tõttu pöörduda ega oma kontakti *6* sulgeda, mistõttu relee rakendub viivitusega.

VIII PEATÜKK

ELEKTRIAJAMITE JUHTIMINE

§ 1. Üldmõisteid

Seiskamine, käivitamine, pöörlemissuuna muutmine ja muud elektriajami tööga seoses olevad ja talle töömasina poolt esitatavatest nõuetest tulenevad toimingud sooritatakse kas käsitsi-, poolautomaat- või automaatjuhtimis-aparatuuriga.

Elektriajami käsitsijuhtimisel sooritab ümberlülitamisi teenindav isik.

Poolautomaatjuhtimisel annab algimpulsi elektriajami sisselülitamiseks (töölehakkamiseks) teenindav isik, elektriajami edasine töö aga kulgeb ilma inimese osavõtuta. Sellise juhtimisviisi hulka kuulub rippraudtee juhtimine söödajaotamisel. Pärast vagoneti täitmist söödaga lülitab tööline seadme sisse, söödaga täidetud vagonett hakkab liikuma ja teatud kohas, mõjustades lõpplülitit, lülitab elektriajami automaatselt välja ning peatub. Mõnikord, kui see on lülitusega ette nähtud, lülitatakse sisse tagasikäik ja seade pöördub taas algasendisse.

Automaatjuhtimisel sooritatakse elektriajami sisselülitamine ja muud toimingud ilma teenindava isiku osavõtuta.

Näitena nimetagem automaatpumbajaama. Eriaparaatide, s. o. vedeliku taset kontrollivate tasemeandurite abil lülitatakse pumba ajami elektrimootorid alumise taseme saavutamisel automaatselt tööle, paagi täitudes aga lülitatakse ülemise taseme saavutamisel automaatselt välja.

Automaat- ja poolautomaatjuhtimisel suureneb mehhanismide tootlikkus ning pareneb toodangu kvaliteet, sest vajalikud töötlemisvõtted täidetakse täpselt, kiiresti ja õigel ajal. Automaatjuhtimisel luuakse kõige soodsamad tingimused töötlemiskäigu kontrollimiseks ja signaliseerimiseks, kui esineb antud tehnoloogia nõuetest kõrvalekaldumisi või rikkeid. Kulutused automaat- ja poolautomaatjuhtimisseadmetele on suuremad kui käsitsijuhtimisseadmetele, kuid need kulutused tasuvad end kasutamiskulude säästu arvel kiiresti.

Sõltuvalt tehnoloogia automatiseerimise määrast eristatakse *kolme liiki automatiseerimist.*

A u t o m a a t k o n t r o l l — tehnoloogilise protsessi pidev kontrollimine. See toimub kontrollmõõteaparatuuri abil või anduritega, mis lähetavad impulsse keskjuhtimispuldile olukorra visuaalseks jälgimiseks või lülitusse elektriajami töö automaatkorrigeerimiseks ja -juhtimiseks. Automaatpumbajaamas täidab automaatkontrolli osa tasemeandur, mis kontrollib paagi vedelikuga täitumise taset. Andur kas registreerib taseme visuaalseks jälgimiseks või teeb muudatusi pumba elektriajami juhtimises.

Protsessi käigu tehnoloogiline signalisatsioon, mis kuulub sama auto-

matiseerimisliigi (automaatkontrolli) hulka, informeerib teenindavaid isikuid protsessi käigust või olukorra muutumisest ja hoiatab elektriajami eemaltkäivituse eest.

Automaatjuhtimine on automatiseerimise kõige enam levinud liik. Enamasti automatiseeritakse järgmised põhitoimingud: elektriajami käivitus, seiskamine, pöörlemissuuna muutmine, pöörlemissageduse reguleerimine, konstantse pöörlemissageduse säilitamine, pidurdus. Kõik need toimingud automatiseeritakse automaataparatuuriga. Selleks et tagada üksikute lülitusosade töötamise vajalikku järjestust, kasutatakse blokeerimist. Töötamisel esinevate ebanormaalsuste ja rikete eest kaitsmiseks kasutatakse automaatkaitseseadiseid.

Automaatreguleerimine on automatiseerimise kõige keerukam liik. Automaatreguleerimine toimub teenindava isiku osavõtuta automaatregulaatorite abil, mis täidavad kontrollimise ja juhtimise ülesandeid. Kui on vaja automaatselt reguleerida temperatuuri ja niiskust inkubaatorites, kasutatakse temperatuuri- ning niiskusandureid, mis kontrollivad ning reguleerivad temperatuuri ja niiskust. Peale selle lähetavad need andurid lülitusse (energia-) vooluimpulsse inkubaatori küttekehade või pumba elektriajami juhtimiseks. Niisiis on automaatregulaatorid keerukamad seadeldised kui aparaadid ja seadised, mida kasutatakse automaatjuhtimisel.

Käesolevas peatükis käsitletakse automatiseerimise teist liiki — elektriajamite automaatjuhtimist.

§ 2. Mõningaid määratlusi ja elektriajamite automaatjuhtimislülituste skeemidel esinevaid tingmärke

Üksikautomatiseerimine on ühe elektriajami automaatjuhtimine, arvestamata tema koostööd teiste elektriajamitega, näiteks pumbaagregaadi või transportööri juhtimise automatiseerimine. Toodud näidetes ei arvestata juhtimise automatiseerimisel teiste, naabermehhanismide ja elektriajamite tööd.

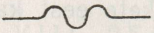
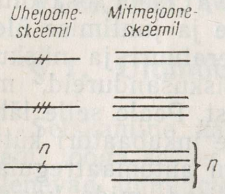
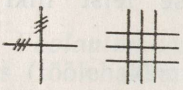
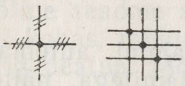
Kompleksne automatiseerimine on üksteisest teatud sõltuvuses olevate elektriajamite automaatjuhtimine. Transportööri automaatjuhtimisel peab olema ette nähtud blokeerimisside teiste, transportöörile materjali pealeandvate mehhanismide elektriajamitega.

Automaatjuhtimislülitused on keerukamad kui käsitsijuhtimislülitused. Nad koosnevad kümnetest, keerukamates lülitustes isegi sadadest seadistest ja aparaatidest. Selliste lülituste skeemi lugemise hõlbustamiseks tuleb neid kujutada kindla tava alusel. Üksikud koostisosad ja seadised kujutatakse vastavalt standardile ГОСТ 7624-62. Standardile vastavad elektrimasinate, aparaatide ja nende osade tingmärgid on esitatud tabelis 11.

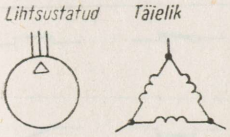
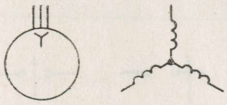
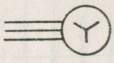
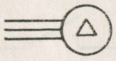
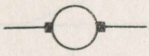
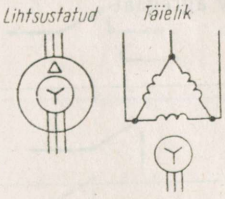
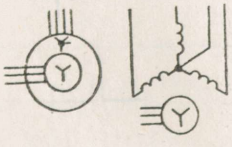
Kokkuleppe järgi kujutatakse skeemidel kõigi üksikosade asend normaalolekus. *Kontaktide ja muude lülitusosade normaaloleku all mõistetakse nende asendit pingestamata olukorras või mehaanilise mõjustuse* (nupule vajutuse) *puudumisel käsklusaparaadi või kontrolleri nullasendi puhul.*

Automatiseeritud elektriajami mistahes elektrilülitus võib sisaldada järgmisi vooluringe (elektriahelaid).

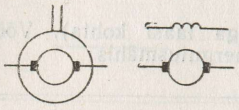
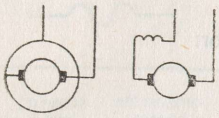
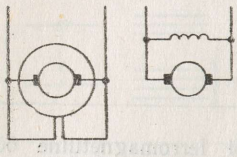
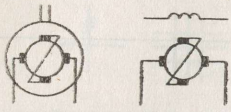
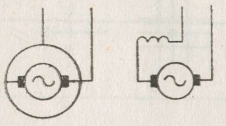
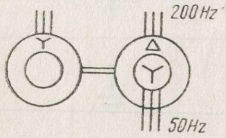
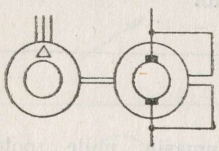
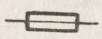
1. Pea- ehk toitevooluringid (-ahelad), millesse on ühendatud elektrimootorite ankru-, staatori- ja rootorimähised. Need vooluringid kujutatakse skeemil pideva jämeda joonena.
2. Abi- või juhtimisvooluringid (-ahelad), millesse on ühendatud

Tingmärk	Nimetus
	Vooluringi juhe, kaabel, latt. Üldine tingmärk
	Painduv juhe
	Kahest, kolmest ja *n* juhtmest, kaablist, latist koosnev vooluring
	Elektriliselt ühendamata ristuvad juhtmed, kaablid, latid
	Elektriliselt ühendatud ristuvad juhtmed, kaablid, latid
	Ühe juhtme, kaabli, lati hargmik
	Maandus
	Reguleerimist iseloomustav märk. Üldine tingmärk
	Staator (üldine tingmärk) Staatorimähis
	Lisapooluse mähis
	Kompensatsioonimähis

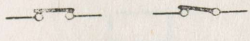
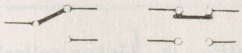
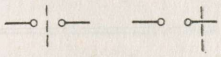
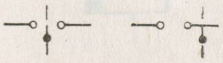
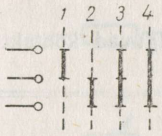
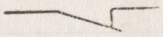
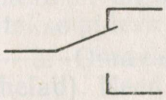
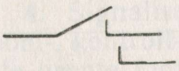
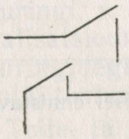
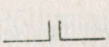
Tabel 11 (järg)

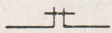
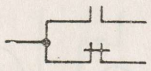
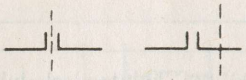
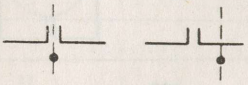
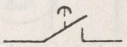
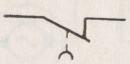
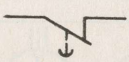
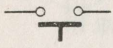
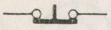
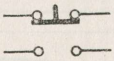
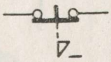
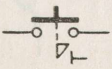
Tingmärk	Nimetus
	Vahelduvvoolumasina staatorimähis (iga faasi kohta). Võõrergutusmähis. Alalisvoolumasina jadaergutusmähis
	Kolmefaasiline jaotatud mähisega staator: a) kolmnurklülituses
	b) tähtlülituses
	Mähiseta rootor (mittemagnetiline või ferromagnetiline õõsrootor)
	Jaotatud mähisega rootor a) kolmefaasiline, tähtlülituses
	b) kolmefaasiline, kolmnurklülituses
	c) lühisrootor
	Mähise, kommutaatori ja harjadega rootor
	Faasirootoriga kolmefaasiline asünkroonmasin, mille rootorimähis on tähtlülituses; staatorimähis: a) kolmnurklülituses
	b) tähtlülituses, väljatoodud neutraalpunktiga (keskpunktiga)

Tabel 11 (järg)

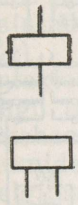
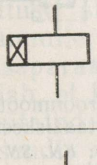
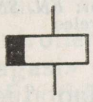
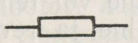
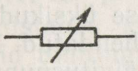
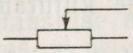
Tingmärk	Nimetus
	Sõltumatu ergutusega alalisvoolumasin
	Alalisvoolu-jadaergutusmasin
	Alalisvoolu-rööpergutusmasin
	Ristvälja-masinvõimendi (amplidüün) ühe tüürimismähisega
	Ühefaasiline jadaergutus-kommutaatormootor
	Kolmefaasilisest lühisrootoriga asünkroonmootorist ja sagedusmuundurist (näiteks 50/200 Hz) koosnev agregaat
	Kolmefaasilisest lühisrootoriga asünkroonmootorist ja alalisvoolu-rööpergutusgeneraatorist koosnev agregaat
	Sulavkaitse. Üldine tingmärk
	Kaitsmega vinnaklüliti

Tabel 11 (järg)

Tingmärk	Nimetus
	Lüliti ja ümberlüliti kontaktid: a) sulguvad kontaktid
	b) avanevad kontaktid
	c) ümberlülitavad kontaktid
	Keeruka lülitusega lülitite ja ümberlülitite kujutamisel lubatakse järgmisi kontakti tingmärke: a) sulguvad kontaktid
	b) avanevad kontaktid
	Keeruka lülitusega juhtimisümberlülitite kujutamisel lubatakse tingmärgina konstruktiivset kujutamisviisi
	Relee kontakt: a) sulguv kontakt
	b) avanev kontakt
	c) ümberlülituskontakt
	d) kaksiksulguvkontakt
	Releekontaktide väljaviikude suund ei ole sätestatud
	Kontaktori, käiviti, jõukontrolleri kontakt: a) sulguv kontakt

Tingmärk	Nimetus
	b) avanev kontakt
	c) ümberlülituskontakt
	Keeruka lülitusega kontaktorite, käivitite ja jõukontrollerite kujutamisel lubatakse järgmisi kontaktide tingmärke: a) sulguvad kontaktid
	b) avanevad kontaktid
	Relee ja kontaktori sulgumisviivitusega sulguvad kontaktid
	Relee ja kontaktori avanemisviivitusega avanevad kontaktid
	Relee ja kontaktori sulgumisviivitusega avanevad kontaktid
	Sulguva kontaktiga iseennistuv nupplüliti
	Avaneva kontaktiga iseennistuv nupplüliti
	Ühe avaneva ja ühe sulguva kontaktiga iseennistuv nupplüliti
	Avaneva kontaktiga riivistuv ja taasvajutamisel ennistuv nupplüliti
	Sulguva kontaktiga riivistuv ja lisanupule vajutamisel ennistuv nupplüliti

Tabel 11 (järg)

Tingmärk	Nimetus
	Relee, kontaktori, magnetkäiviti mähis. Mähise väljaviigud võib kujutada ristküliku ühele küljele
	Elektromagnetrelee mähis, viivituse märkimisega mähisel: a) rakendumisviivitusega
	b) ennistumisviivitusega
	Mittereguleeritav takisti
	Reguleeritav takisti (reostaat). Üldine tingmärk
	Reguleeritav takisti (potentsiomeeter). Vooluringi katkestav

juhtimis-, signalisatsiooni- ja kontrollaparaadid. Need vooluringid kujutatakse pideva peene joonena.

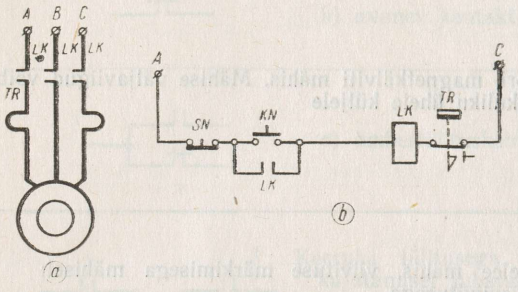
3. Omavahelise blokeeringu vooluringid (blokeerimisvooluringid või -ahelad). Need vooluringid hõlmavad blokeerimissidestused (lülituse üksikosade omavahelised seosed) ja kujutatakse skeemil pideva joonena.

4. Signalisatsioonivooluringid (-ahelad), mis ühendavad signalisatsiooni-, kontroll- ja mõõteriistu ning -aparaate; kujutatakse skeemil pidevate peente joontena.

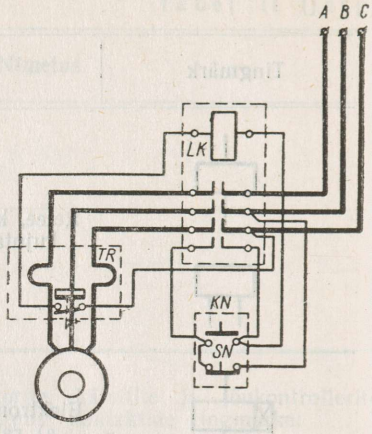
Automaatjuhtimislülitustes on tingimata vajalikud kaks esimest vooluringi, s. t. toite- ja juhtimisvooluringid. Mis puutub blokeerimis- ja signalisatsioonivooluringidesse, siis need mõnikord ühtivad juhtimisvooluringidega ja esinevad iseseisvatena ainult keerukates automaatjuhtimislülitustes.

Toite- ja juhtimisvooluringide voolu liigi ning pinge valik on tingitud tehnilis-majanduslikest ja ohutustehnika kaalutlustest.

Põllumajandusseadmetes on ohutustehnika seisukohalt soovitatav toita juhtimisvooluringe iseseisvatest vooluallikatest, mille pinge on toitepingest madalam.



Joon. 129. Asünkroonmootori juhtimislülituse laotatud skeem:
a — toitevooluring; *b* — juhtimisvooluring



Joon. 130. Asünkroonmootori juhtimislülituse montaažiskeem:
LK — liinikontaktor; *KN*. *SN* — nupukilp; *TR* — termorelee

Automatiseeritud elektriajami lülitused kujutatakse laotatud skeemina nagu joonisel 129. Lülituse üksikosad kujutatakse sellises järjestuses, nagu nad on omavahel ühendatud, arvestamata ühe või teise osa tegelikku asukohta. Elektrimootori käivitamine, seiskamine ja reverseerimine toimub nuppude ja magnetkontaktori abil, kaitsmine kestva liigkoormuse eest aga termoreleedega. Vaatamata sellele, et magnetkontaktori ja nuppude tegelik asukoht on erisugune, kujutatakse üksikud osad laotatud skeemil nii, nagu nad on elektriliselt omavahel ühendatud. Nupukilbi seiskamisnupu *SN* avanev kontakt ühendatakse käivitusnupu *KN* sulguva kontaktiga, seejärel magnetkontaktori mähisega ja termoreleede avanevate kontaktidega. Automaatjuhtimislülituste selline kujutamisviis hõlbustab skeemi lugemist.

Juhtimise automatiseerimislülitusi kujutatakse ka koondatuina — montaažiskeemina. Selle kujutamisviisi puhul esitatakse skeemil aparatuuri kõik üksikosad üheskoos, nendevahelised ühendused aga juhtmeid kujutavate joontena. Joonisel 130 on kujutatud juhtimisnuppude ja magnetkontaktori abil juhitava asünkroonmootori juhtimislülituse montaažiskeem. Selline kujutamisviis küll veidi raskendab skeemi lugemist, kuid hõlbustab montaažitöid.

Iga automaatjuhtimislülitusse kuuluv üksikosa peab olema tähisega märgistatud. Ühe aparaadi kõigil osadel on ühesugune tähis. Kui näiteks liinikontaktori tähiseks on tähed *LK*, tuleb sama tähisega märgistada ka kontaktori mähis ning selle kontaktori sulguvad ja avanevad kontaktid.

Ühtseid ja üldkehtivaid juhendeid üksikosade tähistamiseks skeemidel ei ole olemas. Enamasti tähistatakse juhtimis- ja kontrollaparatuur mitmest suurtähest koosnevate tähistega. Esimene täht viitab aparaadi või seadise ülesandele lülituses, ülejäänud aga väljendavad tema nimetust. Näiteks: *LK* — liinikontaktor, *KK* — kiirenduskontaktor, *PK* — pidurduskontaktor, *KN* — käivitusnupp, *SN* — seiskamisnupp, *TR* — termorelee.

Kui lülituses on mitu ühesugust seadist, näiteks mitu aeg- või termoreleed, mis kuuluvad eri mootorite juurde, asetatakse nende aparaatide tähise lõppu järjenumber, näiteks *TR1, TR2, TR3.*

Iga klemm, mis ühendab kahte või enamat lülituses sisalduvat üksikosa, tähistatakse numbriga. Klemmid, millel on ühine kokkuühenduspunkt, tähistatakse ühe ja sama numbriga.

Releede, kontaktorite ja nuppude kontaktid kujutatakse skeemil nii, et juhtmed jäävad rõhtasendisse (et lüliteid tegevusse rakendada, on vaja neile vajutada ülevalt alla) või püstasendisse (on vaja vajutada vasakult paremale).

Kontaktorite ja releede kontaktide asend skeemidel märgitakse sellisena, nagu ta on siis, kui vastavad mähised on pingestamata ja riivistused mehaaniliselt mõjustamata.

Skeemide lugemise hõlbustamiseks ja aparaatide tegutsemisjärjekorra selgitamiseks lisatakse mõnikord skeemile nn. kontrolleridiagramm. Joonisel 131 on kujutatud osa reversiiv-alalisvoolumootori automaatjuhtimislülituse skeemist ja sellele lülitusele vastav kontrolleridiagramm. Diagrammile on püstsihis märgitud kontaktide nimetused, rõhtsihis aga käsklusaparaadi või kontrolleri asendite numbrid. Märk × diagrammil tähendab, et kontrolleri vastavas asendis on kontaktid suletud.

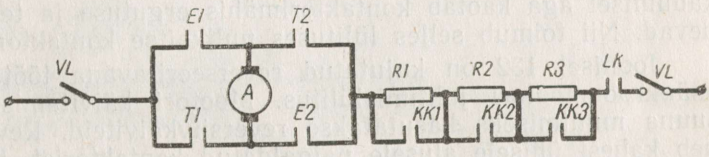
Esitatud diagrammilt nähtub, et kontrolleril on neli asendit *«Edasi»*, neli asendit *«Tagasi»* ja lähteasend (nullasend).

Kontrolleri käepideme nihutamisel ühele neljast asendist «Edasi» või «Tagasi» sulgub kontakt *LK* ning vastavalt sulguvad ka kontaktid *E1* ja *E2* (käepideme nihutamisel vasakule) või *T1* ja *T2* (käepideme nihutamisel paremale).

Mootori ankur lülitub seejuures võrku läbi käivitustakistite *R1, R2* ja *R3*. Kontrolleri asendites *2, 3* ja *4* sulguvad vastavalt kiirenduskontaktorite *KK1, KK2* ja *KK3* kontaktid, millega käivitustakistite üksikud astmed *R1, R2* ja *R3* lühistatakse.

Mistahes keerukas automaatjuhtimislülitus sooritab kombineeritult lihtsaid toiminguid, nagu käivitamine, seiskamine, pöörlemissuuna muutmine jm. Käsitleme mõningaid tüüpilisemaid automaatjuhtimislülitusi.

Joonisel 129 on kujutatud elektrimootori käivitamise juhtimislülitus kolmefaasilise asünkroonmootori automaatkäivitamiseks magnetkäivitiga. Juhtimis- ja peavooluringi toidetakse ühest ning samast vooluallikast. Moo-

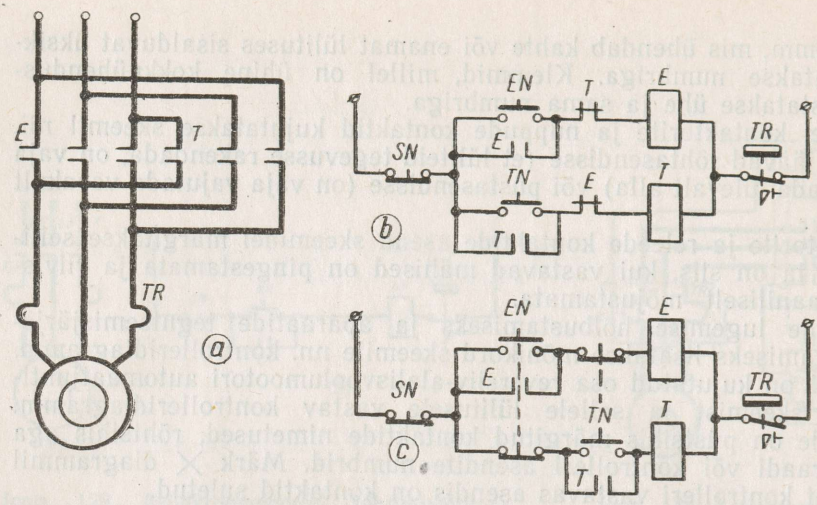


ⓐ

Asendi nr. / Kontaktid	Edasi				0	Tagasi			
	4	3	2	1		1	2	3	4
LK	×	×	×	×		×	×	×	×
E1	×	×	×	×					
E2	×	×	×	×					
T1						×	×	×	×
T2						×	×	×	×
KK1	×	×	×				×	×	×
KK2	×	×						×	×
KK3	×								×

ⓑ

Joon. 131. Alalisvoolumootori automaatjuhtimislülituse skeem:
a — toitevooluring; *b* — kontrolleridiagramm



Joon. 132. Asünkroonmootori juhtimislülitus blokeeringuga:
a — toitevooluring; *b* — juhtimisvooluring kontaktorite avanevate blokeerkontaktidega; *c* — juhtimisvooluring juhtimisnuppude avanevate blokeerkontaktidega

tori käivitamiseks tuleb vajutada käivitusnupule *KN*. Sellega pingestatakse liinikontaktori *LK* mähis, peakontaktid *LK* sulguvad ja lülitavad elektrimootori võrku. Samaaegselt sulgub juhtimisvooluringis olev blokeerkontakt *LK*, mis sildab käivitusnupu kontakti. Pärast seda võib käivitusnupule vajutamise lõpetada ja see pöördub vedru mõjul algasendisse tagasi. Elektrimootori peatamiseks vajutatakse seiskamisnupule *SN*. Sellega katkestatakse kontaktori *LK* mähise vooluring, kontaktor ennistub ja tema kontaktid *LK* taasavanevad. Peakontaktid *LK* lülitavad mootori staatorimähise võrgust välja, blokeerkontakt *LK* aga käivitusnupu kontakte enam ei silda. Kestva liigkoormuse korral peatab mootori termorelee *TR*, mille rakendudes avaneb tema tavaliselt suletud kontakt *TR* ja katkestab kontaktorimähise vooluringi. Kontaktori kontaktid pöörduvad algasendisse. Lühise korral peavad rakenduma kaitsmed, pinge kadumisel aga kaotab kontaktorimähis ergutuse ja tema kontaktid avanevad. Nii toimub selles lülituses nullkaitse kontaktori abil.

Joonisel 132 on kujutatud reverseeritavana töötava lühisrootoriga asünkroonmootori juhtimislülitus. Mootori käivitamiseks ja pöörlemissuuna muutmiseks kasutatakse reversiivkäiviteid. Reversiivkäiviti koosneb kahest ühisele alusele paigaldatud kontaktorist. Et vältida mõlema kontaktori üheaegset sisselülitumist, on neil mehaaniline blokeering, sest üheaegne sisselülitumine põhjustaks lühise.

Selles lülituses on toitevooluringi ühendatud reversiivkäiviti kontaktorite peakontaktid ja lühisrootoriga mootori staatorimähis. Mootori reverseerumiseks lülitatakse kaks faasi ümber kontaktorite *E* ja *T* abil. Juhtimisringis on edasikäigunupp *EN*, tagasikäigunupp *TN* ja seiskamisnupp *SN* ning kaks kontaktorimähist *E* ja *T*. Lülituses on lisaks mehaanilisele blokeeringule nähtud ette ka elektriline, mis saavutatakse kontaktorite avanevate kontaktidega *E* ja *T*. Et käivitada asünkroonmootor pärisuunas, tuleb vajutada nupule *EN*. Sellega sulgub kontaktorimähise *E* vooluring, lülituvad ümber kontaktori *E* pea- ja blokeerkontaktid ning mootori staatorimähis lülitatakse võrku. Kontaktori avanevad kontaktid *E* katkestavad mähise *T* vooluringi, vältides võimalikke väärlülitamisi. Et

panna mootor tööle tagasisuunas, on vaja ta seisata ja käivitada vastassuunas. Vastassuunas käivitamiseks vajutatakse nupule *TN*.

Reversiivkäivitit võib elektriliselt blokeerida ka juhtimisnuppude *EN* ja *TN* avanevate kontaktidega.

Joonisel 132, *c* ongi kujutatud lühisrootoriga asünkroonmootori juhtimislülitus, mis blokeerib kontaktorid elektriliselt juhtimisnuppude avanevate kontaktide abil. Igal juhtimisnupul on kaks kontakti: avanev ja sulguv. Käivitusnupule vajutamisel üks kontakt avaneb ja teine sulgub.

Reversiivasünkroonmootori juhtimislülitus, mis on kujutatud joonisel 132,*b*, erineb joonisel 132,*c* kujutatud lülitusest selle poolest, et viimasel juhul muudetakse pöörlemissuunda vastavale nupule *EN* või *TN* vajutamisega, ilma et enne asünkroonmootorit nupu *SN* abil seisataks.

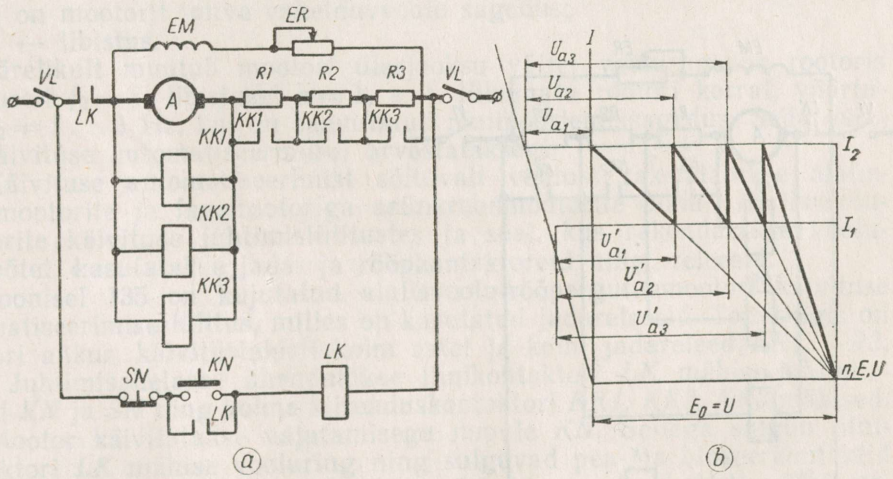
Mehaanilise ja elektrilise blokeeringu üheaegne rakendamine käivitites suurendab elektrimootori töökindlust.

§ 3. Elektrimootorite käivituse ja pidurduse automatiseerimise lülitusi ja põhimõtteid

Peamised füüsikalised suurused, mida rakendatakse elektrimootorite käivituse ja pidurduse automatiseerimisel, on pöörlemissagedus (vastuelektromotoorjõud ja voolusagedus), vool ja aeg.

Joonisel 133 on kujutatud alalisvoolu-rööpergutusmootori automaatkäivituse lülitus ja käivitusdiagramm automatiseerimiseks sõltuvalt vastuelektromotoorjõust. Elektrimootor käivitatakse kolmeastmelise käivitusreostaadi *R1, R2, R3* abil.

Elektrimootori käivitamiseks antud lülituse korral vajutatakse nupule *KN*. Sellega sulgub liinikontaktori *LK* mähise vooluring, elektrimootori ankruringis sulguvad peakontaktid ja lülitavad ankru võrku. Sama kontaktori blokeerkontaktid *LK* sildavad käivitusnupu. Käivituse algul, mootori liikumatu ankru korral, mil $n = 0$ ja $E = 0$, on pinge kiirenduskontaktorite *KK1, KK2* ja *KK3* mähistel madal, võrdudes ankrus



Joon. 133. Alalisvoolu-rööpergutusmootori juhtimislülitus käivituse automatiseerimiseks sõltuvalt elektromotoorjõust:
a — elektriskeem; *b* — käivitusdiagramm

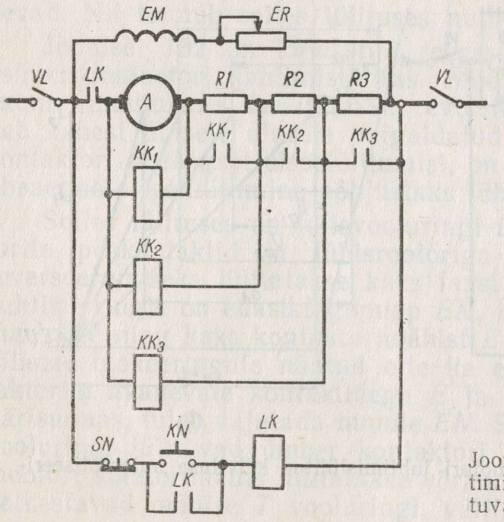
tekkiva pingelanguga, mis on graafiliselt kujutatud diagrammil lõiguna U_{a1}.

Elektrimootori ankru pöörlemissageduse suurenedes vastuelektromotoorjõud kasvab ja saavutab teatud kiirusel n_1 ankrul pinge väärtusega $U_{a1} = I_1R_a + E_1$. Sellele pingele on häälestatud esimene kiirenduskontaktor *KK1*, mis rakendub ja lühistab oma sulguvkontaktiga käivitustakisti esimese astme *R1*.

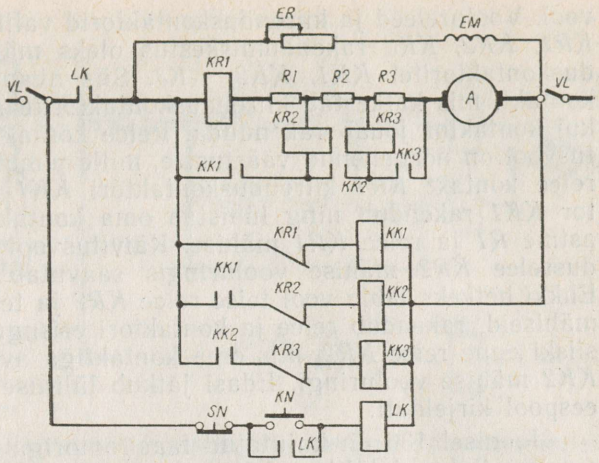
Esimese kiirenduskontaktori rakendumispinge leitakse graafiliselt diagrammilt lõiguna U'_{a1}. Pärast käivitustakisti esimese astme lühistamist tugevneb vool ankrus väärtusele I_2, ankrupinge aga kasvab väärtusele $U_{a2} = I_2R_a + E_1$. Mootori ankru edasise ülesjooksuga vastuelektromotoorjõud ja pinge ankru klemmidel tõusevad veelgi. Ankru pöörlemissagedusel n_2 on pinge ankru klemmidel $U'_{a2} = I_1R_a + E_2$, mille puhul peab rakenduma teine kiirenduskontaktor *KK2*, mis oma sulguvate kontaktidega lühistab käivitustakisti teise astme *R2*. Samas järjekorras rakendub kolmas kiirenduskontaktor. Pärast takisti viimase astme lühistamist kiirendub mootori ankur uuesti. Sellega mootori käivitus lõpebki.

Käsitletud lülitus alalisvoolu-rööpergutusmootori käivituse automatiseerimiseks sõltuvalt vastuelektromotoorjõust on lihtne ega nõua erikontaktoreid. Lülituses kasutatakse tavalisi kontaktoreid, ainult et nende kontaktorite mähised tuleb valida erisugustele pingetele. Kontaktorite rakendumispinged leitakse arvutustega või graafiliselt. Kontaktorite *KK1*, *KK2* ja *KK3* rakendumispingete erinevused on graafiliselt leitavad käivitusdiagrammilt lõikudena $U'_{a2} - U'_{a1}$, $U'_{a3} - U'_{a2}$. Mida rohkem on käivitustakistil astmeid, seda väiksemad on kontaktorite rakendumispingete erinevused ja seda suuremat kontaktorite tegutsemistäpsust elektrimootori käivitamine antud lülitusse nõuab.

Sellel lülitusel on järgmised puudused. Esiteks, ta on väga tundlik võrgupinge kõikumiste suhtes. Võrgupinge tõusmisel käivitub mootor järjest suurematel käivitusvoolu maksimaal- ja minimaalväärtustel, võrgupinge alanemisel aga võivad kiirenduskontaktorid mitte rakenduda, mistõttu elektrimootor jääb tööle ankruringi osaliselt või täielikult sisselülitatud takistitega. Teiseks, lülitus on väga tundlik kiirenduskontaktorite mähiste temperatuuri muutumise suhtes. Mähiste temperatuuri muutumisel muutub ka nende takistus ja kontaktorid rakenduvad arvutatust



Joon. 134. Alalisvoolu-rööpergutusmootori juhtimislülitus käivituse automatiseerimiseks sõltuvalt elektromotoorjõust



Joon. 135. Alalisvoolu-rööpergutusmootori juhtimislülitus käivituse automatiseerimiseks sõltuvalt voolust

erinevatel pingetel. Kolmandaks, kiirenduskontaktorite mähised tuleb valida erisugustele rakendumispingetele.

Viimane puudus ei ole nii ilmne, kui ühendada kiirenduskontaktorid *KK1, KK2* ja *KK3* joonisel 134 esitatud skeemi järgi.

Nimetatud puuduste tõttu on alalisvoolumootorite käivituse automatiseerimine sõltuvalt vastuelektromotoorjõust võrdlemisi vähe levinud ja seda soovitatakse rakendada püsiva võrgupingega, püsiva käivituskoormusega ja harvade käivitustega seadmetes, kus kontaktorimähiste temperatuur muutub vähe.

Faasirootoriga asünkroonmootorite ja sünkroonmootorite käivitust automatiseeritakse sageduspõhimõttel.

Asünkroonmootori rootoris indutseeritakse vahelduvpinge sagedusega

$$f_2 = f_1 s, \tag{326}$$

kus f_1 on mootorit toitva vahelduvvoolu sagedus;

s — libistus.

Järelikult muutub mootori ülesjooksu vältel voolusagedus rootoris väärtuselt $f_2 = f_1$ libistusel $s = 1$, s. t. liikumatu rootori korral, väärtusele $f_2 = 1 \ldots 3$ Hz, kui on saavutatud nimipöörlemissagedus. Seda asjaolu käivituse automatiseerimisel arvestataksegi.

Käivituse automatiseerimist sõltuvalt voolust rakendatakse alalisvoolumootorite ja faasirootoriga asünkroonmootorite puhul. Alalisvoolumootorite käivituse juhtimislülitustes ja seal, kus rakendatakse voolupõhimõtet, kasutatakse jada- ja rööpkontaktoreid ning -releesid.

Joonisel 135 on kujutatud alalisvoolu-rööpergutusmootori käivituse automatiseerimise lülitus, milles on kasutatud jadareleesid. Toiteringis on mootori ankur, käivitustakisti kolm astet ja kolm jadareleed *KR1, KR2, KR3*. Juhtimisahelasse ühendatakse liinikontaktori *LK* mähis, juhtimisnupud *KN* ja *SN* ning kolme kiirenduskontaktori *KK1, KK2, KK3* mähised.

Mootor käivitatakse vajutamisega nupule *KN*. Sellega sulgub liinikontaktori *LK* mähise vooluring ning sulguvad pea- ja blokeerkontaktid *LK*. Peakontakt lülitab mootori ankru võrku ja mootor hakkab pöörlema. Liinikontaktori blokeerkontakt *LK* sildab käivitusnupu. Liinikontaktori *LK* rakendumisel läbib kiirendusrelee *KR1* ja kiirenduskontaktori *KK1* mähist

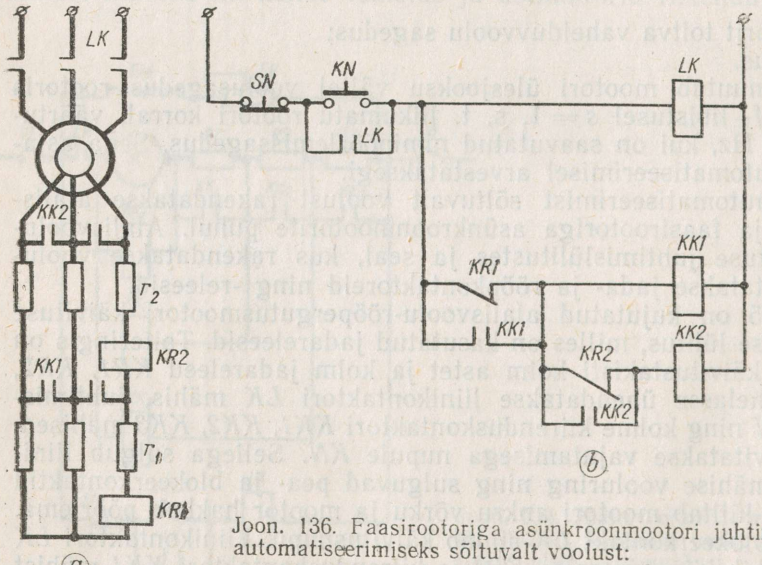
vool. Voolureleed ja kiirenduskontaktorid valitakse sellised, et jadareleede *KR1, KR2, KR3* rakendumiskestus oleks märgatavalt lühem kui kiirenduskontaktoritel *KK1, KK2, KK3*. Siis avaneb algul vastava relee *KR* kontakt, mis katkestab kiirenduskontaktorite *KK* mähise vooluringi enne, kui kontaktor jõuab rakenduda. Relee kontakt taassulgub siis, kui käivitusvool on nõrgenenud väärtusele, mille puhul relee ennistub. Nüüd suleb relee kontakt *KR1* kiirenduskontaktori *KK1* mähise vooluringi. Kontaktor *KK1* rakendub ning lühistab oma kontaktiga käivitustakisti esimese astme *R1* ja relee *KR1* mähise. Käivitusvool ankruringis ja teise kiirendusrelee *KR2* mähise vooluringis saavutab uuesti maksimaalväärtuse. Ehkki hetkeks läbib vool teise relee *KR2* ja teise kiirenduskontaktori *KK2* mähiseid, rakendub relee ja kontaktori erisuguse rakendumiskestuse tõttu siiski enne relee *KR2*, mis oma kontaktiga avab teise kiirenduskontaktori *KK2* mähise vooluringi. Edasi jätkub lülituse tegevus samal viisil, nagu eespool kirjeldati.

Joonisel 136 on kujutatud faasirootoriga asünkroonmootori käivituse automaatjuhtimislülitus. Lülitus on automatiseeritud voolupõhimõttel.

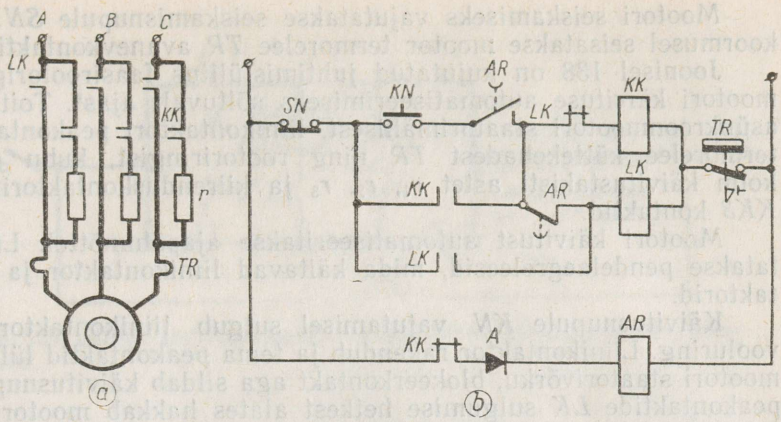
Toiteringis on asünkroonmootori staatorimähis ning kaheastmelise käivitustakisti ja kiirendusreleede *KR1* ja *KR2* mähiste kaudu suletud rootorimähis. Juhtimisvooluringis on liinikontaktor *LK*, kiirenduskontaktorid *KK1* ja *KK2*, ning juhtimisnupud.

Asünkroonmootor käivitub käivitusnupule *KN* vajutamisel. Selle tulemusena lülitatakse mootori staator vahelduvvooluvõrku. Rootoriringis tekib maksimaalne käivitusvool, kiirendusreleede *KR1* ja *KR2* mähiseid läbib vool ja need rakenduvad. Kiirendusreleede kontaktid *KR1* ja *KR2* katkestavad kiirenduskontaktorite *KK1* ja *KK2* mähiste vooluringid.

Mootori pöörlemissageduse suurenedes tema rootorivool nõrgeneb. Kui see saavutab ümberlülitamiseks ettenähtud väärtuse, avaneb relee *KR1* kontakt ja sulgub kiirenduskontaktori *KK1* mähise vooluring. Kiirenduskontaktori kontaktid *KK1* lühistavad käivitustakistite esimese astme r_1. Edasi kordub lülituse tegevus.



Joon. 136. Faasirootoriga asünkroonmootori juhtimislülitus käivituse automatiseerimiseks sõltuvalt voolust:
a — toitevooluring; *b* — juhtimisvooluring



Joon. 137. Asünkroonmootori juhtimislülitus käivituse automatiseerimiseks sõltuvalt ajast:
a — toitevooluring; *b* — juhtimisvooluring

Voolupõhimõttel automatiseerimise eeliseks on see, et mootorid käivitatakse rangelt etteantud vooluväärtusel, takisti astmed lülitatakse aga ümber sõltumata võrgupinge ja kontaktorimähiste temperatuuri kõikumisest. Kui aga koormusvool osutub käivitamisel siiski arvutatud ümberlülitamisvoolust tugevamaks, siis kontaktor ei rakendu.

Käivituse automatiseerimine ajapõhimõttel toimub aegrelee abil.

Joonisel 137 on kujutatud lühisrootoriga asünkroonmootori juhtimislülitus, kus käivitus on automatiseeritud ajapõhimõttel. Käivitusvoolu nõrgendamiseks on staatoriahelasse jadamisi ühendatud tegevtakisti. Mootori pöörlemissageduse suurenemisel ja käivitusvoolu nõrgenemisel lühistatakse takisti automaatselt ja mootori staatorimähis lülitatakse võrgu täispingele.

Toiteahel koosneb staatorist, tegevtakistitest *r*, liinikontaktori peakontaktidest *LK*, kiirenduskontaktori kontaktidest *KK* ja termorelee küttekehadest *TR*. Juhtimisvooluringis on juhtimisnupud, liinikontaktori *LK* mähis, kiirenduskontaktori *KK* mähis, elektromagnetaegrelee *AR* mähis ja alaldi *A*. Pea- ja juhtimisahelat toidetakse ühisest vahelduvvooluallikast.

Juhtimisahela sisselülitamisel pingestub elektromagnetaegrelee *AR* mähis, aegrelee rakendub ning tema avanev- ja sulguvkontakt lülituvad ümber. Viivitusega sulguv avanevkontakt avab liinikontaktori mähise *LK* vooluringi, viivitusega avanev sulguvkontakt aga valmistab ette kiirenduskontaktori *KK* mähise vooluringi. Käivitusnupule *KN* vajutamisel sulgub kiirenduskontaktori *KK* mähise vooluring ja tema sulgunud peakontaktide kaudu lülitub mootori staatorimähis võrku läbi tegevtakisti *r*. Samaaegselt avab kontaktori *KK* avanevkontakt aegrelee *AR* mähise vooluringi. See relee ennistub viivitusega, mille kestusele vastavalt sulgub aegrelee *AR* kontakt liinikontaktori *LK* mähise vooluringis. Liinikontaktor rakendub ja lühistab oma peakontaktidega käivitustakisti ning mootori staator lülitub võrgu täispingele. Samaaegselt avab liinikontaktori *LK* sulguvkontakt kiirenduskontaktori *KK* mähise vooluringi, kiirenduskontaktor ennistub, tema kontaktid avanevad ning lülitavad käivitustakisti ahelast välja. Sellega ongi lühisrootoriga asünkroonmootori automatiseeritud käivitus lõppenud.

Mootori seiskamiseks vajutatakse seiskamisnupule *SN*. Kestval liigkoormusel seisatakse mootor termorelee *TR* avanevkontaktiga.

Joonisel 138 on kujutatud juhtimislülitus faasirootoriga asünkroonmootori käivituse automatiseerimiseks sõltuvalt ajast. Toiteahel koosneb asünkroonmootori staatorimähisest, liinikontaktori peakontaktidest *LK* ja termorelee küttekehadest *TR* ning rootoriringist, kuhu on ühendatud kolm käivitustakisti astet r_1, r_2, r_3 ja kiirenduskontaktorite *KK1*, *KK2*, *KK3* kontaktid.

Mootori käivitust automatiseeritakse ajapõhimõttel. Lülituses kasutatakse pendelaegreleesid, mida käitavad liinikontaktor ja kiirenduskontaktorid.

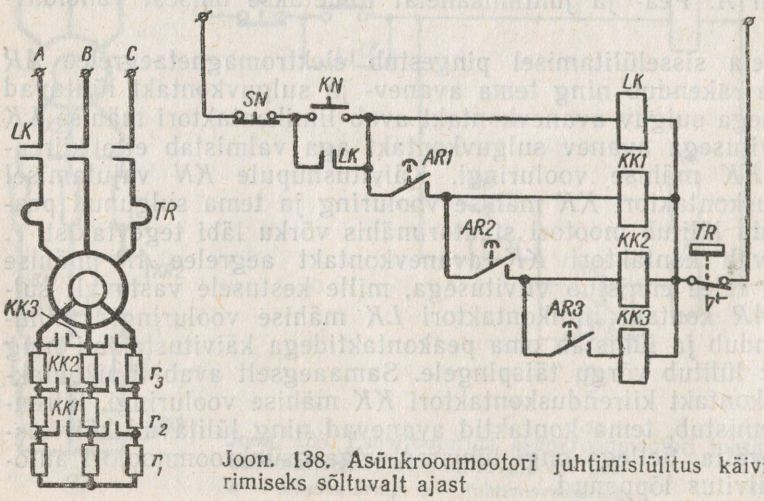
Käivitusnupule *KN* vajutamisel sulgub liinikontaktori *LK* mähise vooluring. Liinikontaktor rakendub ja tema peakontaktid lülitavad elektrimootori staatorivõrku, blokeerkontakt aga sildab käivitusnupu. Kontaktori peakontaktide *LK* sulgumise hetkest alates hakkab mootori rootor pöörlema, kusjuures rootoriringi käivitustakisti on täielikult sisse lülitatud. Samaaegselt käivitub pendelrelee *AR1*, mis on seatud teatud viivitusele. Viivituse möödumisel sulgub aegrelee *AR1* kontakt, kiirenduskontaktor *KK1* rakendub ja tema kontaktid lühistavad käivitustakisti esimese astme.

Kontaktori *KK1* rakendudes käivitatakse pendelrelee *AR2*, mis samuti pärast teatud viivituse möödumist suleb kiirenduskontaktori *KK2* mähise vooluringi, kiirenduskontaktor *KK2* rakendub ja tema kontaktid lühistavad käivitustakisti teise astme. Analoogiliselt lühistatakse ka takisti kolmas aste.

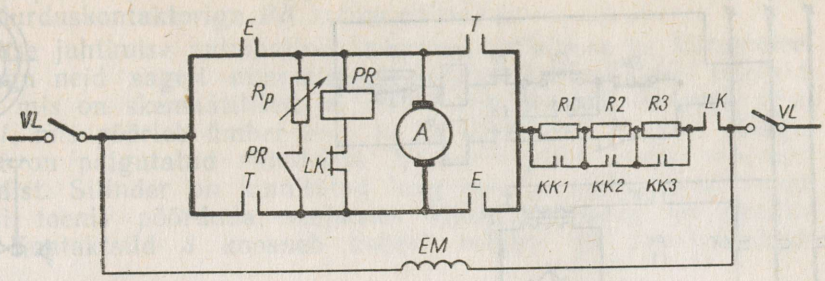
Normaalsel töötamisel seisatakse mootor seiskamisnupuga *SN*, liigkoormusel aga ühe või teise termorelee *TR* avanevkontaktiga. Seejuures kõik lülituses olevad seadised ennistuvad (pöörduvad käivituseelsesse asendisse) ja mootor on jälle käivitamiseks valmis.

Joonisel 139 on kujutatud alalisvoolumootori dünaamilise pidurduse lülitus. Toiteahelas on mootori ankur, käivitustakisti kolm astet ja liinikontaktori *LK* peakontakt.

Mootori ankruga rööbiti on ühendatud dünaamilise pidurduse relee *PR* mähis, mille vooluringis on liinikontaktori avanevkontakt *LK*. Peale selle on mootori ankruga rööbiti dünaamilise pidurduse reguleertakisti R_p, mis on jadamisi dünaamilise pidurduse relee sulguvkontak-



Joon. 138. Asünkroonmootori juhtimislülitus käivituse automatiseerimiseks sõltuvalt ajast



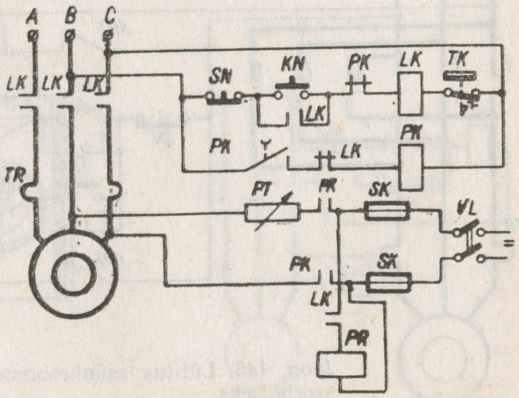
Joon. 139. Lülitus alalisvoolumootori dünaamilise pidurduse automatiseerimiseks

tiga. Kui mootor töötab, on dünaamilise pidurduse relee mähise vooluring avatud. Mootori väljalülitamisel kaob liinikontaktori *LK* mähiselt toide, kontaktor ennistub ja tema avanev blokeerkontakt *LK* suleb dünaamilise pidurduse relee *PR* mähise vooluringi. Relee *PR* mähis pingestub, relee rakendub ja selle kontakt lülitab mootori ankruringi dünaamilise pidurduse takisti R_p.

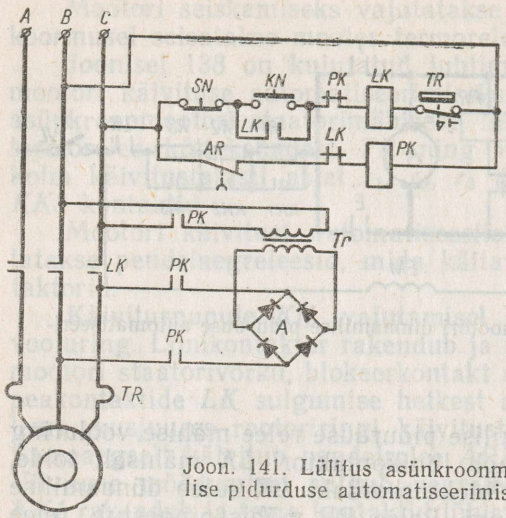
Käsitletud juhtimislülituses on pidurdus automatiseeritud elektromotoorjõu põhimõttel, võib aga rakendada ka teisi põhimõtteid. Lühisrootoriga asünkroonmootorite dünaamilist pidurdust automatiseeritakse ajapõhimõttel aegreleede kasutamisega.

Joonisel 140 on kujutatud juhtimislülitus asünkroonmootori käivituse ja dünaamilise pidurduse automatiseerimiseks. Toiteringis on mootori staatorimähis, termoreleede küttekehad ja liinikontaktori *LK* peakontaktid. Mootoriolukorras toidetakse staatorit vahelduvvooluvõrgust, dünaamilise pidurduse olukorras aga alalisvooluallikast. Juhtimisvooluringis on juhtimisnupud, liini- ja pidurduskontaktorite *LK* ja *PK* mähised. Dünaamilise pidurduse relee *PR* on ühendatud alalisvooluallikaga.

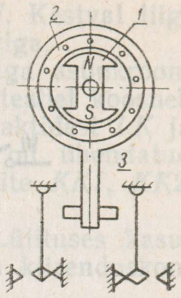
Käivitusnupule *KN* vajutamisel sulgub kontaktori *LK* mähise vooluring. Kontaktori rakendudes sulguvad tema peakontaktid *LK*, mis lülitavad mootori staatorimähise võrku, selle kontaktori blokeerkontakt aga sildab käivitusnupu, mille võib nüüd vabastada. Ühtlasi sulgub dünaamilise pidurduse relee *PR* mähise ahel, see relee rakendub ja tema kontakt sulgub ning valmistab ette pidurduskontaktori *PK* mähise vooluringi.



Joon. 140. Lülitus asünkroonmootori dünaamilise pidurduse automatiseerimiseks



Joon. 141. Lülitus asünkroonmootori dünaamilise pidurduse automatiseerimiseks

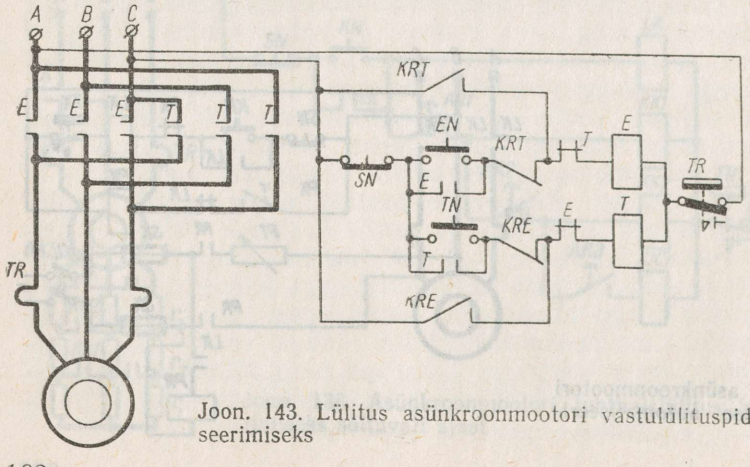


Joon. 142. Kiirusrelee skemaatiline kujutis:
1 — püsimagnet; *2* — silinder; *3* — kontaktsild

Seiskamisnupule *SN* vajutamisel avaneb liinikontaktori *LK* mähise vooluring, kontaktor ennistub ning tema pea- ja blokeerkontaktid avanevad. Sellega lülitub mootori staatorimähis võrgust välja ja pidurduskontaktori *PK* mähise vooluring sulgub. Pidurduskontaktori *PK* avanevkontaktiga lülitatakse elektrimootori staatorimähis alalisvooluallikaga ning mootor hakkab tööle dünaamilise pidurduse olukorras. Pärast teatud aja möödumist, mis on mootori kiirendatud peatamiseks küllaldane, avaneb pidurdusrelee *PR* viivitusega avanev kontakt ja katkestab pidurduskontaktori *PK* mähise vooluringi. Nüüd kogu lülitus ennistub ja dünaamiline pidurdus lõpeb.

Dünaamiline pidurdus lõpetatakse tavaliselt siis, kui mootori pöörlemissagedus on vähenenud väärtusele $(0{,}1 \ldots 0{,}15)\,n_n$.

Kui alalispingeallikat ei ole, kasutatakse alaldit. Lühisrootoriga asünkroonmootori dünaamilise pidurduse juhtimislülitus alaldi abil on kujutatud joonisel 141. Lülitus talitleb analoogiliselt eespool kirjeldatuga. Erinevus on vaid selles, et pidurduskontaktori *PK* mähise vooluring lüli-



Joon. 143. Lülitus asünkroonmootori vastulülituspidurduse automatiseerimiseks

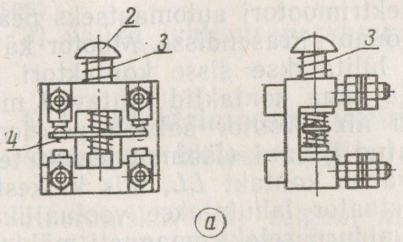
tatakse välja pärast pidurduse lõppu pendelaegrelee *AR* kontaktiga. Aegrelee on pidurduskontaktoriga *PK* kokku ehitatud.

Pidurduse juhtimise automatiseerimiseks kasutatakse ka kiirusreleesid ehk, nagu neid sageli nimetatakse, kiiruse kontrollimise releesid. Kiirusrelee, mis on skemaatiliselt kujutatud joonisel 142, koosneb püsimagnetist *1*, mis pöörleb ümber telje ja on ühendatud mootori võlliga. Püsimagnet on paigutatud silindrisse *2*, mis kujutab endast oravikutaolist seadist. Silinder on kinnitatud laagritele ja võib teatud nurga võrra (kuni toeni) pöörduda; seejuures lülituvad ümber kontaktsilla kontaktid. Kontaktsild *3* koosneb kahest sulguv- ja avanevkontakti paarist.

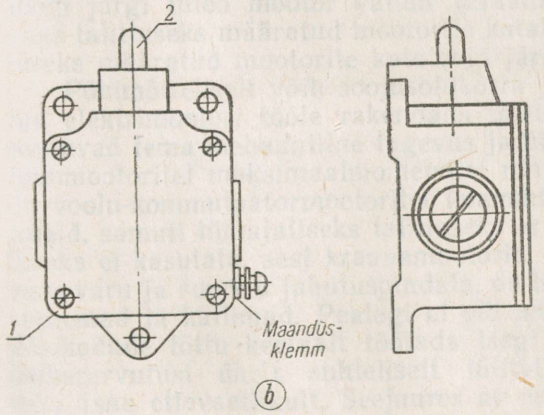
Elektrimootori ankru või rootori pöörlemisel pöörleb samasuguse pöörlemissagedusega ka relee püsimagnet. Pöörleva magneti magnetväli, lõigates silindris olevaid juhtmeid, indutseerib neis elektromotoorjõu. Selle mõjul ning silindris tekkiva elektrivoolu ja pöörleva magnetvälja koostoimel silinder pöördub ja kontaktsilla kontaktid lülituvad ümber.

Joonisel 143 on kujutatud juhtimislülitus lühisrootoriga asünkroonmootori vastulülituspidurduse automatiseerimiseks kiirusreleega. Toiteringis on elektrimootori staatorimähis, edasi- ja tagasikäigukontaktorite *E* ja *T* peakontaktid ning termoreleede küttekehad *TR*. Juhtimisahelas on juhtimisnupud, kontaktorite *E* ja *T* mähised ning nende blokeerkontaktid ja kiirusrelee kontaktid. Kiirusrelee kinnitatakse elektrimootoriga ühisele võllile.

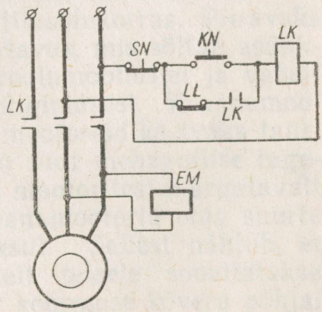
Nupule *EN* või *TN* vajutamisel sulgub vastavalt kas kontaktori *E* või *T* mähise vooluring, vastav kontaktor rakendub ja tema kontaktid lülitavad elektrimootori staatorimähise võrku ning rootor hakkab pöörlema. Samaaegselt käivitub ka kiirusrelee ja lülituvad vastavalt ümber



Joon. 144. Lõpplüliti:
a — vaade ilma kestata; *b* — kestaga; *1* — kest; *2* — varras; *3* — ennistusvedru; *4* — kontaktsild



Joon. 145. Lülitus mootori automatiseerimiseks sõltuvalt teest



relee kontaktid *KRE* või *KRT*, mis valmistavad ette kontaktorite *E* või *T* mähise vooluringi (elektrimootori pöörlemisel pärisuunas valmistatakse ette kontaktori *T* mähise vooluring ja vastupidi).

Mootori seiskamiseks vajutatakse seiskamisnupule *SN*. Edasi- või tagasikäigukontaktori mähise vooluring avaneb, kontaktor *E* või *T* ennistub ja selle peakontaktid lülitavad elektrimootori võrgust välja, blokeerkontaktiga aga sulgub kontaktori *T* mähise vooluring, kui elektrimootor pöörles pärisuunas, ja vastupidi. Niisiis, mootor reverseeritakse, kuid inertsi mõjul jätkab ta pöörlemist endises suunas, töötades vastulülituspidurduse olukorras. Pidurdusmomendi tõttu elektrimootori ankru või rootori pöörlemissagedus pidevalt väheneb ja kiiruse lähenemisel nullile avavad kiirusrelee kontaktid kontaktori *E* või *T* mähise vooluringi ja lülitavad mootori staatorivõrgust välja.

Sageli automatiseeritakse juhtimist sõltuvalt teest. Selleks kasutatakse lõpp- ehk teekonnalüliteid. Lõpplüliti, mille üldvaade ja skemaatiline kujutis on esitatud joonisel 144, koosneb kestast *1*, vardast *2*, ennistusvedrust *3* ja kontaktsillast *4*. Kontaktsillal võib olla üks või mitu kontakti. Mehaanilisel liikumisel vajutab käru või mingi teine seade lõpplüliti vardale, mis on ühendatud kontaktsillaga. Seejuures varras, nihkudes edasi, lülitab ümber kontaktsilla kontaktid.

Lõpplülitid on ennistuvad või mitteennistuvad. Esimestel tuleb varras ennistusvedru toimel lähteasendisse tagasi, teistel aga on vaja lüliti vardale või rullile vajutada uuesti teist korda.

Lõpplülitid on hetkelise või viittoimega. Esimesed rakenduvad sõltumata käru või muu lüliti vardale suruva mehaanilise seadme liikumise kiirusest, teised aga rakenduvad sõltuvalt lüliti vardale mõjuva mehhanismi liikumise kiirusest.

Lõpp- või teekonnalülitite abil juhtimise automatiseerimist sõltuvalt teest rakendatakse transpordiseadmetel, pikihöövelpinkidel ja teistel seadmetel, kus on vaja kontrollida asendit või vahemaad.

Joonisel 145 on kujutatud lülitus elektrimootori automaatseks peatamiseks, kui käru või mingi muu seade jõuab piirasendisse. Mootor käivitatakse käivitusnupuga *KN*. Seejuures lülitatakse sisse kontaktori *LK* mähise vooluring, kontaktor rakendub ja tema kontaktid lülitavad mootori staatorimähise vooluallikaga kokku ning rootor hakkab pöörlema, mehhanismi liikuv osa aga, jõudnud teatud kohani (läbinud teatud tee), vajutab lõpplüliti vardale. Seejuures avaneb kontakt *LL*, mis katkestab kontaktori mähise vooluringi. Mootori staator lahutatakse vooluallikast ja samaaegselt lülitatakse vool välja ka pidurduselektromagneti mähisest *EM*. See kaotab ergutuse ja piduriklotsid rakenduvad.

IX PEATÜKK

ELEKTRIAJAMI VALIMINE

Elektriajami valimisel tuleb lähtuda täpselt kindlaksmääratud tehnoloogiast ja töömasina või masinate süsteemi nõudeist mehaanilise energiaallika suhtes. Katseliselt, arvutuse teel või normatiivide põhjal peab olema kujundatud ka koormuskõver.

Peab olema teada töömasina võlli pöörlemissagedus ja tema pöörlemise tingimused, millest sõltub elektriajami valik (hoorattaga või hoorattata, reguleeritav või mittereguleeritav).

Et valida elektriajam tervikuna, on vaja:

1) määrata kindlaks elektrimootori võimsus ja tüüp, talitlusolukord (kestev, lühiajaline, vaheajaline talitlus) ning teada mehaanilisi omadusi (käivitus- ja ülekoormusmomenti, pöörlemissagedust, reguleeritavust) ja ehitusviisi (kaitstud, ülepuhutav, plahvatusohutu ehitus);

2) valida voolu liik ja pinge, arvestades energiavarustuse eritingimusi, eelkõige elektrijaama ja alajaama piiratud võimsust põllumajanduduses;

3) valida juhtimisaparatuur ja mehaaniline ülekandemehhanism.

§ 1. Elektrimootori valimine ja tema võimsuse kontrollimine koormuse iseloomu järgi

Koormuskõverast selgub, missuguse talitlusolukorra (kestva, lühiajalise või vaheajalise talitluse) jaoks tuleb mootor valida, kuid selle järgi ei saa määrata mootori tüüpi, s. t. ei saa kindlaks teha, missuguse kataloogi järgi tuleb mootor valida (kraanamootorite kataloogi järgi, kestvaks talitluseks määratud mootorite kataloogi järgi või lühiajaliseks talitluseks määratud mootorite kataloogi järgi).

Põhimõtteliselt võib soojusolukorra järgi kestvaks talitluseks määratud elektrimootori tööle rakendada mistahes talitlusolukorras. Piiravaks osutuvad tema mehaaniline tugevus ja ülekoormatavus, mis sõltub asünkroonmootoritel maksimaalmomendist ning alalisvoolumootoritel ja vahelduvvoolu-kommutaatormootoritel kommuteerimistingimusest. Kraanamootoreid, samuti lühiajaliseks talitluseks arvutatud mootoreid kestvaks talitluseks ei kasutata, sest kraanamootorid, millel on suur mehaanilise tugevuse varu ja suurem jahutuspindala, on harilikest mootoritest märgatavalt raskemad ja kallimad. Pealegi ei või mõned kraanamootorid oma suurte püsikadude tõttu kestvalt töötada isegi tühijooksul. Sellest nähtub, et ümberarvutusi ühelt suhteliselt lülitatuskestuselt teisele soovitatakse teha üsna ettevaatlikult. Seejuures on soovitatav koormuse kõvera põhjal

leitud suhteline lülitatuskestus arvutada ümber lähimale suuremale standardsele suhtelisele lülitatuskestusele.

Muutuvkoormuse puhul tuleb mootori soojenemisolukorra järgi (ruutkeskmise meetodil) leitud võimsust kontrollida mehaanilise ja lühiajalise ülekoormatavuse mõttes.

Mootori mehaanilist ülekoormatavust iseloomustatakse maksimaal- ja nimimomendi suhtega ehk maksimaalmomendi kordusega $\mu_k = M_{max}/M_n$.

Et pinge võib ülekoormusel alaneda, soovitatakse tehaste tutvustusandmestikes mootori koormusmomendi hetkväärtuseks mitte väärtust M_{max}, vaid kõige enam $(0{,}7 \ldots 0{,}8) M_{max}$.

Kestva koormuse puhul kontrollitakse elektrimootori ülekoormatavust ja käivitusolukorda, s. t. tehakse kindlaks, kas algkäivitusmoment on küllaldane töömasina staatilise takistusmomendi ületamiseks paigaltnihke hetkel ja kas kiirendav moment on küllaldane elektrimootorist ja töömasinast koosneva süsteemi ülesjooksuks tootmistingimustega lubatud kestuse vältel.

Tänapäeva elektrimootoreid võib lühiajaliselt voolu järgi üle koormata järgmiselt:

1) alalisvoolumasinaid ja vahelduvvoolu-kommutaatormasinaid 50% võrra ühe minuti jooksul;

2) ühtlussarja asünkroonmootoreid võimsusega üle 0,6 kW 50% võrra kahe minuti jooksul (ГОСТ 183-55) ja võimsusega 0,6 kW 50% võrra ühe minuti jooksul (ГОСТ 8212-56).

§ 2. Elektrimootori vooluliigi ja pinge valimine

Enamiku põllumajandusmasinate elektriajam on mittereguleeritav ja tal on kolmefaasiline asünkroonmootor (peamiselt lühisrootor). Lühismootoril on faasmootoriga võrreldes mitmeid eeliseid. Ta ei vaja käivitusreostaati ning tal pole kontaktrõngaid harjade ja lühistiga. Ta on faasmootorist odavam, lihtsam hooldada ja töökindlam.

Faasmootorit kasutatakse tavaliselt seal, kus on vaja suurt käivitusmomenti suhteliselt nõrga käivitusvoolu puhul (kordsusega 1,5 ... 2), näiteks laagrite sissetöötamispingi ajamis. Siin on küllalt rasked käivitustingimused. Mootori võimsus on 10 ... 13 kW. Lühismootor tekitaks samast võrgust toituvatele valgustitele ja teistele mootoritele transformaatori väikese võimsuse tõttu käivituste jooksul ebanormaalsed tingimused. Kui laagrite sissetöötamispinkidel siiski on lühismootor, peavad nad sundgraafiku järgi töötama üldise koormuse miinimumi ajal, mil valgustuskoormus puudub.

Asünkroonmootorite üldtuntud puuduseks on see, et nende pöörlemissageduse reguleeritavus on väga piiratud. Sellel puudusel ei ole aga põllumajanduses kasutatavate elektriajamite puhul olulist tähtsust, sest need on enamasti mittereguleeritavad.

Seal, kus on vaja pöörlemissagedust reguleerida (metallitöötlemispinkidel), kasutatakse mitmekiiruselisi asünkroonmootoreid, mille pöörlemissagedust muudetakse poolusepaaride arvu muutmisega.

Sünkroonmootorite kasutamist piirab nende kallidus ja see, et ergutusmähiste toitmiseks on vaja alalisvoolu. Peale selle vajavad sünkroonmootorid automaatjuhtimisaparatuuri, mis samuti teeb seadmestiku kalliks. Seepärast kasutatakse neid suhteliselt võimsates seadmetes.

Alalisvoolu on põllumajanduses vaja peamiselt autode, elektrikärude ja raadioseadmete akude laadimiseks. Selleks kasutatakse erilisi muundureid, millega vahelduvvool muundatakse alalisvooluks.

Vastavalt standardile ГОСТ 183-55 on normitud vahelduvpinged 12, 36, 127, 220, 380, 500 V, 3, 6, 10, 35, 110, 154, 220, 380 kV ja alalispinged 12, 24, 110, 200, 440 V.

Tööstuslikult toodetakse alalisvoolumootoreid pingele 36, 110, 220, 440 V ja vahelduvvoolumootoreid pingele 36, 220, 380, 500, 3000, 6000 V.

Generaatori pingest sõltuvalt on põllumajanduses alalisvoolumootoreid mitmesugusele pingele. Majanduslikel kaalutlustel soovitatakse mootorite klemmipingeteks 120 ja 440 V.

Kõige levinum vahelduvpinge põllumajanduses kasutatavais elektriseadmeis on tänapäeval pingesüsteem 380/220 V, maandatud nullpunktiga. Tööstuslikult on hakatud tootma kolmnurklülituses 3-kW ja suurema võimsusega kolmefaasilisi asünkroonmootoreid pingele 380 V (ГОСТ 4542-59). Sellistel mootoritel on mitmeid paremusi võrreldes mootorisarjaga, mida toodetakse tähtkolmnurklülituses pingetele 380/220 V ja 220/127 V. Piisab, kui märkida, et seni 380-V võrgupingele toodetavaid mootoreid ei saa lülitada tähtkolmnurklülitiga. Elektrimootorid pingele 380 V on ühendatud kolmnurka, mähised lülitatakse aga tähte ainult käivituse ajaks ja väikese koormusega $(0{,}3 \ldots 0{,}4)P_n$ töötamise ajaks. Mähiste ümberlülitamine kolmnurgast tähte tagab suurest alakoormusest hoolimata hea kasuteguri ja $\cos\varphi$. Teistsugune pinge valitakse ainult erandjuhtudel, kui on tõestatud sellega saavutatavad tehnilismajanduslikud eelised ja suuremad kasutamismugavused. Näiteks mõningaid kompaktseid tarbijaid (töökodasid, põllumajandussaaduste esmastöötlemise käitisi), mida toidetakse oma alajaamast, on otstarbekas varustada pingega 220/127 V. Sel juhul juhtmematerjali ülekulu võrreldes pingesüsteemiga 380/220 V kas ei teki või on see tähtsusetu, kuid pingesüsteemi 220/127 V paremused osutuvad olulisteks. Lampidel pingele 127 V on suurem valgusviljakus kui 220-V lampidel, mootoreid aga, mis sageli peavad (tehnoloogia tingimuste kohaselt) töötama suure alakoormusega ja normaalselt on lülitatud kolmnurka, võib ümber lülitada tähte, millega nende kasutegur ja $\cos\varphi$ suurenevad.

Seda on igal konkreetsel juhul vaja enne pinge lõplikku valimist hoolikalt kaaluda.

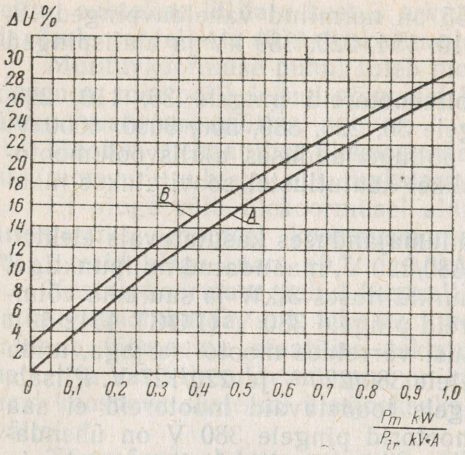
Mõned eriotstarbelised masinad (pügamismasinad) ja elektrifitseeritud tööriistad (ehitustööriistad, metallitöötlemisriistad, aiatööriistad) varustatakse väikesevõimsuselise lühismootoriga pingele 220 V või 127 V (eritellimisel) või teenindavate töötajate ohutuse tagamiseks pingele 36 V.

Mootoreid, mis on arvestatud kõrgemale pingele kui 380 V, kasutatakse põllumajanduses ainult erijuhtudel, kui on vaja toitekaablit säästa. Näiteks Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) uusimat tüüpi vintsil (В-1) on 1000-V mootor.

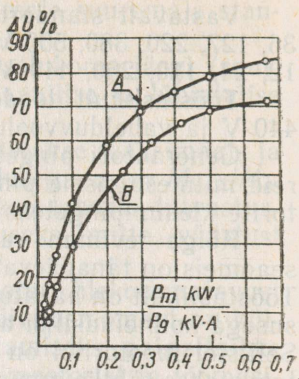
Mootoreid, mis on arvestatud pingele 3000 või 6000 V, kasutatakse võimsate niisutuspumbajaamade seadmestikes.

§ 3. Elektrimootori valimine, arvestades väikese võimsusega energiaallika mõju

Pinge kõikumine. Väikese võimsusega generaatorist või alajaamast toituva lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamine põhjustab suuri võrgupinge kõikumisi, mis tunduvalt mõjustab sisselülitatava mootori käivitustingimusi ja juba varem sisselülitatud mootorite tööolukorda. Sageli juhtub, et ebaõigesti valitud mootor väikese võimsusega elektrijaama või alajaama võrku lülitamisel ei käivitu ja tekitab võrgus nii suure pinge-



Joon. 146. Kõverad, mis kujutavad pingekadu protsentides asünkroonmootorite vahetul käivitamisel jõutrafodest:
A — tühijooksul, *B* — 50% induktiivkoormusel



Joon. 147. Kõverad, mis kujutavad pingekadu protsentides asünkroonmootorite vahetul käivitamisel sünkroongeneraatoritest:
A — tühijooksul, *B* — 50% induktiivkoormusel

kao, et töötavad mootorid ei suuda masina koormusmomenti ületada ja seiskuvad. Seepärast on lühisrootoriga asünkroonmootorite võimsuse ja tüübi valimisel mootori klemmipinge võimalikku alanemist vaja arvestada.

Joonistel 146 ja 147 on kujutatud kõverad, mis näitavad pingekao sõltumust mootori ja toiteallika võimsuste vahekorrast lühisrootoriga asünkroonmootorite vahetul käivitamisel jõutrafost või sünkroongeneraatorist, arvestamata pingekadu õhuliini juhtmetes.

Kui õhuliin on küllalt pikk ja juhtmed väikese ristlõikega, ei või nendes tekkivat pingekadu arvestamata jätta. Pingekadu mootori klemmidel arvutatakse valemiga

$$\Delta U = \frac{z_{tr} + z_l}{z_{tr} + z_l + z_m} 100\%, \tag{327}$$

kus z_{tr} on trafo mähiste näivtakistus lühisel Ω;
z_l — ühendusliini näivtakistus Ω;
z_m — asünkroonmootori näivtakistus lühisel Ω.

Tavaliselt arvutatakse z_{tr} järgmiselt:

$$z_{tr} = \frac{U_n e_l}{100 I_n}, \tag{328}$$

kus U_n on trafo nimifaasipinge;
I_n — nimifaasivool;
e_l — transformaatori lühispinge protsentides.

Trafo mähiste näivtakistus z_{tr} võimsustel 10 kuni 100 kVA on esitatud tabelis 12.

Tabel 12

Trafo võimsus kVA	10	20	30	50	100
z_{tr} Ω	0,8	0,4	0,27	0,16	0,08

Tabel 13

Vask		Alumiinium		Teras	
juhtme mark	z_t	juhtme mark	z_t	juhtme mark	z_t
M10	1,84	A16	1,96	ЖФ	16,80
M16	1,20	A25	1,27	ПС35	5,00
M25	0,70	435	0,91	ПС50	3,75

Ühendusliini ühe kilomeetri näivtakistused rohkem esinevate normitud ristlõikega juhtmete korral on esitatud tabelis 13.

Asünkroonmootori näivtakistus lühisel z_m arvutatakse valemiga

$$z_m = \frac{U_n}{k_i I_n}\ \Omega, \tag{329}$$

kus U_n on mootori nimifaasipinge;

I_n — nimifaasivool;

k_i — käivitusvoolu kordsus.

Sünkroongeneraatorist käivitamisel asetatakse valemisse vastavad generaatori lühisvoolusuhte väärtused.

Püüe muuta põllumajanduses kasutatav elektriseadmestik kõigiti lihtsamaks ja odavamaks sunnib vähendama trafode paigaldusvõimsust, säästma juhtmematerjali ja seega suurendama lühismootorite käivitamisel tekkivat pingekadu jõuseadmete klemmidel ning valgustusvõrgus. Kuid valgustuskoormuse seisukohalt ja võrgus töötavate mootorite stabiilsuse säilitamiseks on tulnud seda piirata.

Vastavalt «Põllumajanduse elektriseadmete projekteerimise juhendile» («Руководящие указания по проектированию сельских электроустановок РУП-1964») lubatakse lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamisel pinge alanemist tema klemmidel kuni 70%-ni võrgu nimipingest, kui seejuures on tagatud mootorist ja töömasinast koosneva süsteemi normaalne ülesjooks.

Mis aga puutub võrgupinge kõikumisse mistahes teise antud võrgus töötava elektrimootori klemmidel, siis see ei tohi alaneda rohkem kui 20% võrra võrgu nimipingest.

Sellised pinge kõikumised, kas või lühiajalisedki, ei ole soovitatavad, eriti valgustustarbimise korral. Seepärast püütakse võimaluse korral toita jõu- ja valgustusseadmeid eraldi (eri trafodest) või rakendada tugevat käivitusvoolu nõudvate mootorite töös sundgraafikut.

Kui seade töötab teistest elektritarbijatest eraldi (näit. elektervilja-peksul) võib lubatud pingekadu olla üle 30%. Kuid ka siin on see määratud kindlaks lülitatava mootori käivitustingimustega ja varem võrku lülitatud mootorite normaalse tööga.

Käivitustingimused nõuavad elektrimootori klemmidel sellist pinget, mille puhul mootori poolt arendatav pöördemoment oleks töömasina paigaltnihkemomendist suurem $(0{,}2 \ldots 0{,}3)M_n$ võrra. Siis elektrimootor mitte ainult ületab paigaltnihkemomendi, vaid suudab anda mootori ja töömasina massidele ka algkiirenduse.

Tuletame põhiseosed lubatud pingekao kohta, lähtudes elektrimootori käivitustingimusest ja varem sisselülitatud mootori töö stabiilsusest.

Kontroll käivitustingimuste järgi. Orienteerivaks arvutuseks võib eel-

dada, et asünkroonmootori pöördemoment muutub võrdeliselt pinge ruuduga.

Siis käivitamisel

$$\frac{M_k}{M_{kn}} = \left(\frac{U_k}{U_n}\right)^2, \tag{330}$$

kus M_{kn} on mootori käivitusmoment nimiklemmipingel;
M_k — mootori käivitusmoment alanenud pingel;
U_k — pinge käivitamisel;
U_n — nimipinge.

Et pingekadu protsentides pole midagi muud kui

$$\Delta U = \frac{U_n - U_k}{U_n} 100\%, \tag{331}$$

võime võrdsuste (330) ja (331) põhjal kirjutada:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_k}{M_{kn}}}\right) 100\%. \tag{332}$$

Mootori ülesjooksuks on vaja, et

$$M_k = M_{nih} + M_{kiir}, \tag{333}$$

kus M_{nih} on töömasina taandatud paigaltnihkemoment;
M_{kiir} — moment, mida on vaja süsteemi kiirendamiseks;
$M_{kiir} = (0{,}2 \ldots 0{,}3) M_n$, keskmiselt $0{,}25 M_n$.

Järelikult:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{nih} + M_{kiir}}{M_{kn}}}\right) 100\%. \tag{334}$$

Tegelikul arvutusel on sageli mugavam lähtuda mitte momentidest M_{nih}, M_{kiir}, M_{kn} endist, vaid nende suhteist nimimomendisse. Sel juhul, tähistanud käivitusmomendi suhte nimimomenti μ_0, paigaltnihkemomendi suhte λ_M ja kiirendusmomendi suhte λ_{kiir}, võime avaldise kirjutada ümber järgmisel kujul:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_M + \lambda_{kiir}}{\mu_0}}\right) 100\%. \tag{335}$$

Nii leitakse lubatud pingekadu mootori nõutud käivitusmomendi puhul, arvestades muidugi töömasina vajadusi.

Vastupidise ülesande lahendamiseks piisab, kui avaldada võrdusest (335) μ_0 järgmine avaldis:

$$\mu_0 = \frac{\lambda_M + \lambda_{kiir}}{1 - \left(\frac{\Delta U}{100}\right)^2}. \tag{336}$$

Esitatud seoste selgitamiseks lahendame mõned näited.

Näide 1. Arvutada teoreetiliselt võimalik lubatud pingekadu lühisrootoriga asünkroonmootori tühjalt käivitamisel, kui käivitusmomendi suhe nimimomenti on 1,2, ülesjooksu tingimuste kohaselt piisab aga paigaltnihkemomendist $0{,}25 M_n$.

Ülesandes antud tingimustest selgub, et $\mu_0 = 1{,}2$, $\lambda_M + \lambda_{kiir} = 0{,}25$. Asetanud need väärtused valemisse, saame:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{0{,}25}{1{,}2}}\right) 100 \approx 54\%.$$

Näide 2. Arvutada lubatud pingekadu asünkroonmootori käivitamisel, kui masina paigaltnihkemoment on võrdne nimimomendiga, soovitatav kiirendusmoment on $0{,}25\,M_n$, mootori paigaltnihkemoment aga on kataloogi järgi $1{,}4\,M_n$.

Ülesande tingimuste kohaselt $\mu_0 = 1{,}4$, $\lambda_M = 1$, $\lambda_{kiir} = 0{,}25$.

Asetanud μ_0, λ_M ja λ_{kiir} väärtused valemisse (335), saame:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{1 + 0{,}25}{1{,}4}}\right) 100 = 5{,}5\%.$$

Selline pingekadu lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamisel on aga väikese võimsusega võrkude puhul liiga väike ja vaevalt tõenäoline, mistõttu tuleb valida suurema käivitusmomendiga mootor.

Näide 3. Kontrollida, kas viljapeksumasina MC-1100 lühisrootoriga asünkroonmootor tüüp A62-4 oma käivitusmomendi poolest käivitustingimusi rahuldab, kui pingekadu käivitamisel on 25%.

Mootori andmed kataloogi järgi: võimsus $P_n = 14$ kW, $n = 24{,}2$ p/s (1450 p/min),

$$\mu_0 = \frac{M_{kn}}{M_n} = 1{,}3.$$

Viljapeksumasina paigaltnihkemoment (taandatuna mootori võllile) on 33,4 Nm Kiirendusmoment käivituse algul olgu vähemalt $0{,}3\,M_n$.

Arvutame mootori nimimomendi:

$$M_n = \frac{P_n}{2\pi n} = \frac{14 \cdot 1000}{2\pi \cdot 24{,}2} \approx 92{,}2 \text{ Nm}.$$

Leiame, kui suur on viljapeksumasina paigaltnihkemomendi suhe nimimomenti:

$$\lambda_M = \frac{M_{nih}}{M_n} = \frac{33{,}4}{92{,}2} = 0{,}36.$$

Antud tingimuste järgi $\lambda_{kiir} = 0{,}3$. Teades ΔU, λ_m ja λ_{kiir}, arvutame mootori vajaliku käivitusmomendikordsuse:

$$\mu_0 = \frac{\lambda_M + \lambda_{kiir}}{\left(1 - \frac{\Delta U}{100}\right)^2} = \frac{0{,}36 + 0{,}3}{\left(1 - \frac{25}{100}\right)^2} \approx 1{,}2.$$

Kataloogi järgi selle mootori $\mu_0 = 1{,}3$. Järelikult rahuldab mootor täielikult talle esitatavaid nõudeid, hoolimata käivituse kestel tema klemmidel tekkivast veidi suuremast pingekaost.

Kuid mitte alati ei ole olukord nii soodne. Väikese võimsusega vooluallikast toituva lühisrootoriga asünkroonmootori valimine koormusel käivitatavatele masinatele kujuneb küllaltki raskeks.

Näide 4. Arvutada mootori vajalik käivitusmomendikordsus, kui pingekadu käivitamisel on 20%, töömasina staatiline takistusmoment ülesjooksu vältel on jääv ja võrdne nimimomendiga M_n, vajalik kiirendusmoment M_{kiir} aga peab olema $0{,}25\,M_n$.

Avaldisega (336) leiame:

$$\mu_0 = \frac{1 + 0{,}25}{\left(1 - \frac{20}{100}\right)^2} = 1{,}95.$$

Asünkroonmootori sellise käivitusmomendikordsuse puhul võib kerkida küsimus faasirootoriga asünkroonmootori valikust.

Kataloogile vastava järgmise suurema võimsusega lühisasünkroonmootori valimine ainuüksi käivitustingimuste rahuldamiseks ennast alati ei õigusta.

Varem sisselülitatud mootorite töö stabiilsuse kontrollimine. Et võimsuselt toiteallikaga ühesuguses suurusjärgus oleva lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamisel varem sisselülitatud elektrimootorid (esmajärjekorras mootorid, mis töötavad ülekoormusel) ei seiskuks, ei või pingekadu nende klemmidel ületada väärtust, mille puhul mootori maksimaalmoment väheneb töömasina takistusmomendini M_{tm}.

Analoogiliselt võrrandiga (332) leitakse sel juhul lubatud pingekadu avaldisest

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{tm}}{M_{max}}}\right) 100\%, \tag{337}$$

kus M_{tm} on varem sisselülitatud mootori ajami suurim moment;
M_{max} — varem sisselülitatud mootori maksimaalmoment (vääratusmoment) nimipingel.

Kui mootori maksimaalmomendi kordsus on μ_v ja töömasina nimimomendi suhe mootori nimimomenti on λ_{tm}, võime avaldise (337) kirjutada sellisel kujul:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_{tm}}{\mu_v}}\right) 100\%. \tag{338}$$

Nagu avaldistest (337) ja (338) nähtub, määrab lubatud pingekao, kui teised tingimused ei muutu, mootori ülekoormatavus μ_v.

Sageli esineb aga vastupidine ülesanne: kontrollida juba töötava elektrimootori stabiilsust teatud pingekao korral, mida põhjustab uue elektrimootori sisselülitamine.

On täiesti ilmne, et sel juhul on stabiilse töö tagamiseks vaja leida elektrimootori ülekoormatavus.

Selleks piisab, kui lahendada võrrand (338) μ_v suhtes:

$$\mu_v = \frac{\lambda_{tm}}{\left(1 - \frac{\Delta U}{100}\right)^2}. \tag{339}$$

Näide 5. Elektrimootor A töötab nimikoormusel ($M_{tm} = M_n$, $\lambda_{tm} = 1$). Elektrimootori B käivitamisel tekib mootori A klemmidel pingekadu $\Delta U = 20\%$. Arvutada elektrimootori A maksimaalmomendi kordsus, mis on vajalik tema stabiilseks töötamiseks.

Asetanud ülesande lähteandmed avaldisse (339), leiame vajaliku maksimaalmomendi-kordsuse:

$$\mu_v = \frac{1}{\left(1 - \frac{20}{100}\right)^2} \approx 1{,}6.$$

Standardi ГОСТ 186-52 järgi on lühisrootoriga asünkroonmootorite $\mu_v = 1{,}7 \ldots 2{,}2$. Kodumaistes tehastes toodetavate mootorite $\mu_v = 1{,}7 \ldots 3{,}2$ sõltuvalt mootori tüübist, võimsusest ja nimipöörlemissagedusest.

See näide tõendab, et toodetavate elektrimootorite maksimaalmomendi väiksemad väärtused rahuldavad põllumajanduse tingimusi ainult siis, kui töömasina koormus ei ületa nimiväärtust.

Raskemates käivitustingimustes ja ülekoormusel (muutlikul koormusel) on tingimata vaja kontrollida mootori töö stabiilsust maksimaalkoormusel.

Näide 6. Kontrollida põhuvintsi elektrimootori töö stabiilsust viljapeksumasina peamootori käivitamisel. Vintsile on paigaldatud elektrimootor AO52-6 võimsusega $P_n = 4{,}5$ kW. Maksimaalmomendi suhe nimimomenti $\mu_v = 2{,}2$. Pingekadu vintsi mootori klemmidel peamootori käivitamisel $\Delta U = 20\%$. Vintsi suurim koormusmoment põhu tõstmisel kuhja on koormuskõvera järgi $M_{tm} = 2{,}0\, M_n$ või $\lambda_{tm} = 2{,}0$.

Arvutame vajaliku maksimaalmomendi kordsuse valemiga (339).

Paigutanud λ_{tm} ja ΔU väärtused valemisse, saame:

$$\mu_v = \frac{2{,}0}{\left(1 - \frac{20}{100}\right)^2} = 3{,}12.$$

Et mootori AO52-6 maksimaalmomendi kordsus on ainult 1.8, siis on täiesti ilmne, et põhuvints ei suuda õlgedega koormatud võrgu vinnamisel kuhjale peksumasina peamootori käivitamise ajal koormusmomenti ületada ja seiskub.

Et tagada põhuvintsi katkematu töö, valitakse kataloogi järgi lähim suurema võimsusega elektrimootor. Selleks on mootor AO62-6 võimsusega 7 kW ja maksimaalmomendi kordsusega $\mu_v = M_{max}/M_n = 2{,}2$.

Kontrollime selle mootori töö stabiilsust. Seoses elektrimootori võimsuse muutumisega muutus ka vintsi suurima koormusmomendi kordsus mootori nimimomendi suhtes. Tähistanud selle λ'_{tm} ning jätnud arvestamata 4,5- ja 7-kW mootori väikese pöörlemissageduse erinevuse, saame:

$$\lambda'_{tm} = \frac{P_n}{P'_n} = \frac{2 \cdot 4{,}5}{7} = 1{,}28.$$

Paigutanud selle väärtuse valemisse (339), leiame mootori AO62-6 vajaliku maksimaalmomendi kordsuse:

$$\mu'_v = \frac{1{,}28}{\left(1 - \frac{20}{100}\right)^2} = 2.$$

Mootori AO62-6 ülekoormatavus on 2,2, seega nõutavast suurem, mistõttu see mootor tagab põhuvintsi elektriajami stabiilse töö.

Tegelikult aga mootori võimsust sageli ei suurendata, vaid eelistatakse põhuvintsi mootori väljalülitamist peamootori ülesjooksu ajaks.

Ülesande selline lahendamine on täiesti võimalik, eriti sel juhul, kui 7-kW elektrimootorit ei saa teistel töödel pärast viljapeksu hooaja lõppemist nii otstarbekalt kasutada kui 4,5-kW mootorit. Vintsi elektrimootori väljalülitamine peamootori käivituse ajaks on niisugusel juhul muidugi kohustuslik.

§ 4. Elektrimootori valimine pöörlemissageduse järgi

Elektrimootori valimisel pöörlemissageduse järgi tuleb arvestada elektrimootori massi, hinna ja kasuteguri sõltumust mitmesugustest nimipöörlemissagedustest, samuti elektrimootoriga ühendatud ja nimipöörlemissageduse järgi valitud mehaaniliste ülekannete hinda ja kasutegurit.

Võimsuse, momendi ja pöörlemissageduse vahelisest põhiseosest $M_n = P_n/2\pi n_n$ järeldub, et elektrimootori poolt arendatava ühe ja sama võimsuse korral peab tema moment olema seda suurem, mida väiksem on pöörlemissagedus, millele ta on arvutatud.

Et elektrimootori mõõtmed leitakse nende jõudude momentide järgi, mida ta tekitab ja vastu võtab, peavad aeglasekäigulistel mootoritel olema suuremad mõõtmed ja suurem mass kui kiirekäigulistel sama võimsuse korral.

Pöörlemissagedusest sõltuvalt toodavad tehased ühte tüüpi kuuluvaid ühe ja sama gabariidi ja massiga mootoreid erisuguse võimsusega. Mida suurem on elektrimootori pöörlemissagedus, seda väiksem on tema mass ja järelikult ka mootori võimsusühiku maksumus.

Siit on mõistetav püüe valida (kus see vähegi võimalik) suurema pöörlemissagedusega elektrimootor. Ühtlasi tuleb arvestada, et kiirekäigulistel elektrimootoritel on suurem kasutegur ja $\cos\varphi$ kui sama võimsusega aeglasekäigulistel mootoritel.

Teoreetiliselt võib ehitada asünkroonmootoreid kuitahes väikesele pöörlemissagedusele. Eritellimisel toodetakse mootoreid pöörlemissagedusega 1,25 ja 1 p/s (75 ja 60 p/min). Üldiselt aga mootoreid sünkroonpöörlemissagedusega alla 10 p/s (600 p/min) peaaegu ei kasutata, sest need on väga kohmakad ja kallid.

Kui töömasina võlli pöörlemissagedus on alla 10 p/s (600 p/min), osutub majanduslikult kasulikuks ja tehniliselt täiesti õigustatuks paigaldada vahetult töömasina võlliga ühendatavate aeglasekäiguliste mootorite asemele reduktoriga või mingi muu mehaanilise ülekandega kiirekäigulised mootorid.

Neid üldisi põhimõtteid tuleb arvestada, kui põllumajanduses kasutatavaile elektriajameile mootorit valitakse.

Elektriajamite mootorite pöörlemissageduse valimise teeb keerukaks see, et enamik põllumajandusmasinaid konstrueeritakse elektrimootorite pöörlemissageduse iseärasusi hoopiski arvestamata.

Põllumajandusmasinate rihmarataste pöörlemissageduste piirkond on väga lai. Ainuüksi kõige rohkem elektrifitseeritavate loomakasvatusmasinate rihmarataste pöörlemissagedused on 0,67...50 p/s (40... 3000 p/min), tööorganite pöörlemissagedused aga ulatuvad väärtusteni 100...133,3 p/s (6000...8000 p/min), näiteks koorelahutitel.

On uuritud 200 tüüpi põllumajandusmasinat ja tööpinki, mille põhjal on kindlaks tehtud, et masinaid ja tööpinke, mille pöörlemissagedus on 50 p/s (3000 p/min), on 5%, 25 p/s (1500 p/min) — 25%, 16,7 p/s (1000 p/min) — 15%, 16,7...3,33 p/s (1000...200 p/min) — 40% ja alla 3,33 p/s (200 p/min) — 15%. Seega on paljud masinad ja tööpingid aeglasekäigulised.

Enamikul juhtudel ei ühti põllumajandusmasinate ja tööpinkide võllide pöörlemissagedused asünkroonmootorite standardsete pöörlemissagedustega 50, 25, 16,7, 12,5 p/s (3000, 1500, 1000, 750 p/min). Ainult tsentrifugaalpumbad, ventilaatorid, lihvimispingid ja mõned kiirekäigulised puurpingid on kohandatud vahetuks sidurdamiseks elektrimootoriga.

Ainult veidi üle 10% kõigist käitatavatest põllumajandusmasinatest saab vahetult sidurdada elektrimootoriga.

Kõige levinum ülekanne elektrimootori rihmaratta ja töömasina rihmaratta vahel on põllumajanduses rihmülekanne, millega saavutatav ülekandearv pole mitte üle 4...5, kui pidada rangelt kinni väikseima telgedevahelise kauguse suhtes esitatavast nõudest.

Viimasel ajal kasutatakse ikka enam kiilrihmülekannet, mis tagab ülekandearvu 7...10.

Põllumajanduses kasutatavate elektriajamite täiustamise ja otstarbekamaks muutmise püüdlused on eelkõige suunatud sellele, et varustada kõige laiemas pöörlemissageduste piirkonnas töötavad masinad kergemate ja odavamate elektrimootoritega.

Arvestades olemasolevate põllumajandusmasinate mehaanilisi omadusi ja kinemaatikat, kerkib päevakorda mitmesuguse ehitusega reduktormootorite kasutamise küsimus. Reduktormootorid pöörlemissagedusega $n_0 = 25$ p/s (1500 p/min) käitavad masinaid, mille veetava rihmaratta pöörlemissagedus on 0,417...4,17 p/s (25...250 p/min). Sellega on seletatav, miks on põllumajanduses kõige enam levinud asünkroonmootor pöörlemissagedusega 25 p/s (1500 p/min). Enamikule põllumajandusmasinatele on nagunii vaja elektrimootori ja masina töövõlli vahel vaheülekandeid — hammasülekandeid, üheastmelisi rihmülekandeid või isegi vaheajamiga rihmülekandeid. Seetõttu pole ülekandearvu mõningasel suurendamisel enam olulist tähtsust. See-eest on aga elektrimootoril, mille pöörlemissagedus on 25 p/s (1500 p/min), mitmeid eeliseid. See

mootor võimaldab säästa metalli, ta on odavam ning tal on suur kasutegur ja cos φ.

Vähem on vaja elektrimootoreid pöörlemissagedusega 50, 16,7 ja 12,5 p/s (3000, 1000 ja 750 p/min), eriti viimaseid. Neid elektrimootoreid kasutatakse vahetuks sidurdamiseks masinatega, mille võlli pöörlemissagedus ühtib elektrimootori pöörlemissagedusega, või juhul, kui elektrimootor pöörlemissagedusega 25 p/s (1500 p/min) pole konstruktiivsetel kaalutlustel otstarbekas.

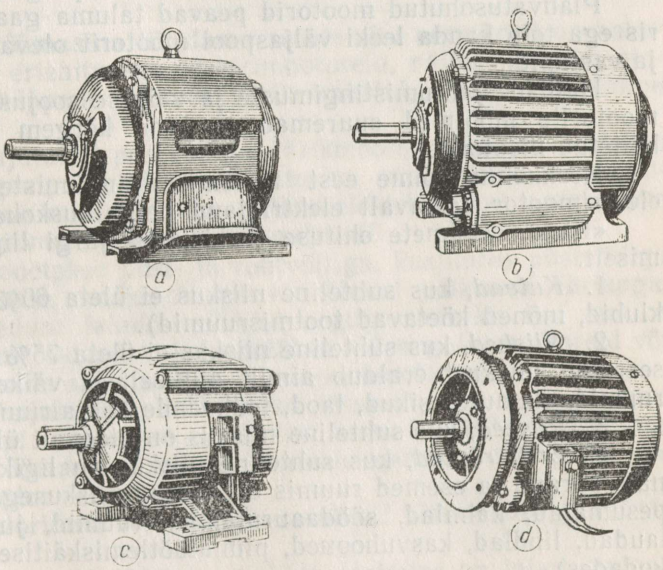
§ 5. Elektrimootori valimine sõltuvalt keskkonnatingimustest

Väliskeskkonna mõju eest kaitstuse mõttes toodetakse kaitstud ehitusega, ülepuhutavaid kinnise ehitusega, läbipuhutavaid ja plahvatusohutuid elektrimootoreid.

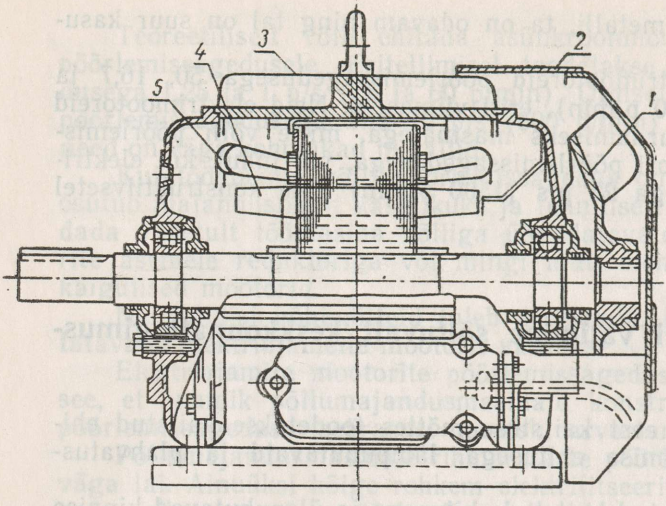
Joonisel 148 on kujutatud kaitstud ehitusega ja ülepuhutavad kinnise ehitusega ühtlussarja asünkroonmootorid.

Kaitstud ehitusega mootori (joon. 148,*a*) kere ja laagrikilbid katavad kõik mootori pöörlevad ja voolu juhtivad osad. Nii on välditud nende juhuslik puudutamine ning mootorisse kõrvaliste esemete ja tilkade sattumine. Ümbritsev õhk tungib mootori sisemusse õhustusavade kaudu. Jahutamise soodustamiseks on rootorile paigutatud jahutustiivik, mis imeb õhu läbi laagrikilpide avade, puhub seda piki mähiseid ja surub läbi kere külgava välja.

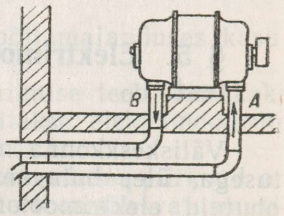
Ülepuhutava kinnise ehitusega mootorite (joon. 148, *b*, *c*, *d*) keres õhustusavasid ei ole ning kõik mootori pöörlevad ja voolu juhtivad osad on täielikult kaetud. Sellise ehitusega mootorit (joon. 149) jahutatakse põhiliselt ventilaatoriga *1*, mis on paigutatud mootori võllile väljapoole



Joon. 148. Ühtlussarja asünkroonmootorid:
a — malmkerega kaitstud mootor; *b* — malmkerega, ülepuhutav kinnine mootor; *c* — alumiiniumkerega, ülepuhutav kinnine mootor; *d* — ülepuhutav kinnine äärikmootor



Joon. 149. AO-tüüpi elektrimootor lõikes



Joon. 150. Läbipuhutava elektrimootori paigaldus

keret ja mis on kaetud terasplekist kattega *2*. Ventilaator imeb õhku läbi kattes olevate avade ja suunab selle piki kere välisribisid *3*, mis on mõeldud mootori soojussiirde suurendamiseks. Ühtlasi paneb rootoril olev jahutustiivik *4* õhu liikuma mootori sees, jahutades tema tugevasti kuumenevaid osi (staatorimähiste laupühendusi *5*).

Joonisel 150 on kujutatud läbipuhutava ehk võõrjahutusega mootori paigaldamise skeem. Mööda toru *A* juhitakse puhas jahutusõhk mootorisse, toru *B* kaudu aga puhutakse soojenenud õhk välja. Õhu sisseimemiseks ja väljapuhumiseks on rootori võllile paigutatud ventilaator.

Plahvatusohutud mootorid peavad taluma gaaside plahvatust mootoris ega tohi kanda leeki väljaspool mootorit olevale plahvatavale gaasile ja vastupidi.

Halbade jahtumistingimuste ja väikese soojussiirde tõttu on kinniste mootorite mõõtmed suuremad ja hind kõrgem kui sama võimsusega kaitstud mootoritel.

Keskkonna toime eest kaitsmise tingimustest sõltuvalt valitakse elektrimootor vastavalt elektriajami paigalduskoha ja ruumi iseloomule. «Elektriseadmete ehituse eeskirjade» järgi liigitatakse ruumid järgmiselt.

1. *Kuivad*, kus suhteline niiskus ei ületa 60% (eluruumid, kontorid, klubid, mõned kõetavad tootmisruumid).
2. *Niisked*, kus suhteline niiskus ei ületa 75% ning auru või kondenseeruvat niiskust eraldub ainult ajutiselt ja väikeses koguses (kütmata ruumid, elamute esikud, laod, töökodade kõrvalruumid).
3. *Rõsked*, kus suhteline niiskus on pidevalt üle 75%.
4. *Eriti rõsked*, kus suhteline niiskus on ligikaudu 100%. Lagi, seinad, põrand ja esemed ruumis on kaetud niiskusega (ühisköögid, saunad, pesumajad, käimlad, söödaaurutamise ruumid, juurviljahoidlad, loomalaudad, lindlad, kasvuhooned, piimatöötlemiskäitised, pesemisruumid töökodades).
5. *Kuumad*, kus temperatuur on pidevalt üle 30° C.
6. *Tolmused*, kus tootmistingimuste tõttu eraldub tehnoloogilist tolmu

niisuguses koguses, et see ladestub juhtmetele, tungib masinatesse, aparaatidesse jm.

7. *Keemiliselt aktiivse keskkonnaga* ruumid, kus tootmistingimuste tõttu on alati või pikka aega auru või tekib sade, mis mõjustab isolatsiooni ja elektriseadmestiku voolu juhtivaid osi kahjulikult (loomalaudad, tallid, vasikalaudad).

8. *Tuleohtlikud* ruumid ja välisseadmed, kus säilitatakse või tarvitatakse süttivaid aineid (veskid, viljapeksukuurid, teraviljahoidlad, rehed, loomalaudad, tallid, aidad).

9. *Plahvatusohtlikud* ruumid ja välisseadmed, kus tehnoloogiast tingituna võib tekkida põlevate gaaside või aurude plahvatusohtlik segu õhu või muu gaasiga — hapendajaga, samuti süttiva tolmu või kiudude segu õhuga (naftabaasid, naftahoidlad).

Vastavalt sellele liigitelule võib soovitada järgmist tüüpi elektrimootoreid.

1. Kaitstud elektrimootorid.
2. Ülepuhutavad kinnised mootorid; on lubatud ka niiskuskindla isolatsiooniga kaitstud elektrimootorid.
3. ja 4. Ülepuhutavad kinnised elektrimootorid.
5. Kaitstud elektrimootorid.
6. Ülepuhutavad kinnised elektrimootorid; on lubatud ka läbipuhutavad elektrimootorid.
7. Läbipuhutavad elektrimootorid; on lubatud ka ülepuhutavad kinnised ja isegi kaitstud elektrimootorid, kuid sel juhul peavad isolatsioon ja mootori osad olema kaitstud korrosiooni ja muu keemilise toime eest.
8. ja 9. Kasutatakse igat liiki elektrimootoreid — kaitstud, ülepuhutavaid kinnisi, läbipuhutavaid ja plahvatusohutuid, mõnel juhul tolmutiheda või plahvatust taluva ehitusega, sõltuvalt tuleohtlikkuse ja plahvatusohtlikkuse klassist.

§ 6. Mõned eriotstarbelised elektrimootorid ja -ajamid

Elektrimootori ja töömasina tihedama seostamise eesmärgil on hakatud tootma mõningaid eriehitusega elektrimootoreid, näiteks äärikmootoreid, mille kerel on käppade asemel äärik vahetuks töömasina külge ühendamiseks.

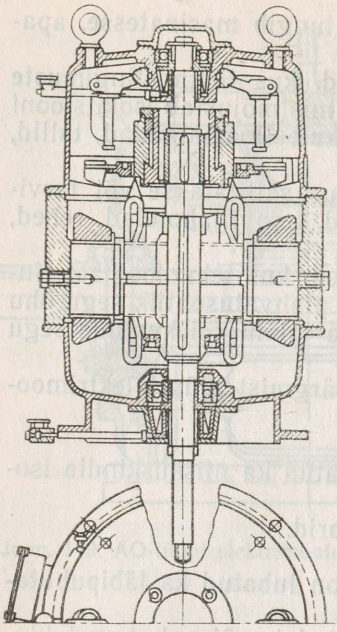
Joonisel 151 on kujutatud püstvõlliga äärikmootor, mida kasutatakse vertikaalsete tsentrifugaalpumpade, ventilaatorite, puurpinkide, vertikaalfreespinkide ja teiste masinate ajamites. Sellise elektrimootori kasutamine lihtsustab loetletud seadmete ajameid märgatavalt.

Äärikmootoreid toodetakse püst- ja rõhtvõlliga, kusjuures püstvõlliga äärikmootoreid toodetakse omakorda all või üleval paikneva äärikuga. Mootori pöörlemissageduse laiades piirides reguleerimiseks, kui mootor on töömasinaga vahetult sidurdatud, toodetakse rööpergutusmootoreid või muudetava poolusepaaride arvuga lühisasünkroonmootoreid.

Joonisel 152 on kujutatud niinimetatud sisseehitatud mootori osad lahtivõetult. Seda tüüpi mootoritel puuduvad kere, laagrid ja võll, mis tavaliselt paiknevad töömasinas või täiturmehhanismis, mille jaoks see eriehitusega elektrimootor on määratud.

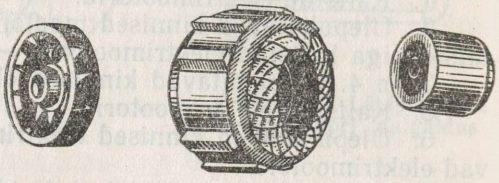
Sisseehitatud mootoritena võivad töötada ainult lühisrootoriga asünkroonmootorid.

Metallitöötlemis- ja puidutöötlemispinkide ajamites on laialt levinud spindelmootorid, mis on terviklikult liidetud tööpingiga. Joonisel 153 on kujutatud sellise mootori üldvaade, joonisel 154 aga lihtsaim spindelmoo-



Joon. 151. Püstvõlliga äärikmootor

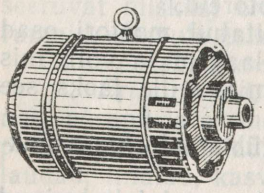
Joon. 152. Sisseehitatud mootori osad



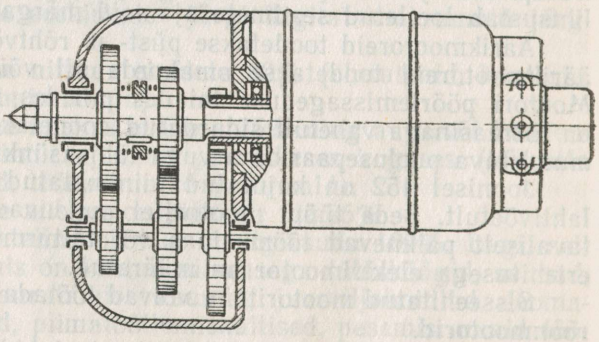
tor kokkuehitatuna treipingi spindliga. Spindelmootori iseloomulikuks omapäraks on hammasrattaga õõnesvõll, mis võimaldab elektrimootorit kompaktselt liita tööpingi käigukasti või spindliga.

Spindelmootoritena toodetakse enamasti alalisvoolumootoreid pöörlemissageduse sujuvaks reguleerimiseks laiades piirides.

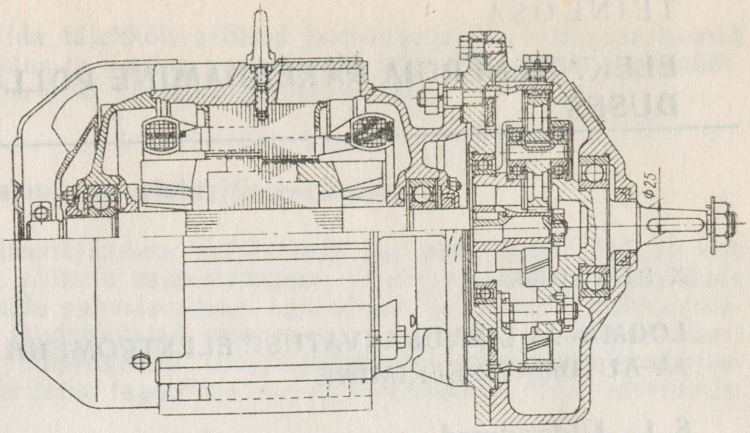
Masinaid, mille pöörlemissagedus on üle 4,17 p/s (250 p/min), käitatakse lihtsalt elektrimootoriga, mille $n_0 = 16{,}7 \ldots 25$ p/s (1000 ... 1500 p/min), rihm- või hammasülekande kaudu. Kui töömasina rihmaratta pöörlemissagedus on 0,417 ... 4,17 p/s (25 ... 250 p/min), tuleb masina käitamiseks kasutada vaheajamiga mitmeastmelist ülekannet. Kompaktsemateks ja töökindlamateks osutuvad aga sel juhul ühe- ja mitmeastmelised reduktormootorid, s. t. elektrimootorid, millel on sisseehitatud reduktor või reduktorid koos külgeehitatud elektrimootoriga.



Joon. 153. Spindelmootor



Joon. 154. Treipingi spindliga ühendatud spindelmootor



Joon. 155. Reduktormootori lõige

Joonisel 155 on kujutatud Ukraina Keemiamasinaehituse Teadusliku Uurimise Instituudi (Укр НИИХИМ маш) lihtsa ehitusega reduktormootor, millel on üheastmeline planetaarülekanne. Need ühe- ja kaheastmelised reduktormootorid on kujundatud ülepuhutavatest asünkroonmootoritest 0,6 ... 4,5 kW, $n_0 = 25$ p/s (1500 p/min). Nende ülekandearv on 5,75 ... 55,2 aeglasekäigulise võlli pöörlemissagedus aga 0,417 ... 4,17 p/s (25 ... 250 p/min).

Massilt on reduktormootor märgatavalt kergem ja mõõtmetelt väiksem kui elektriajam, millel on iseseisev tigu- ja silinderhammasratastega reduktor. Üheastmelise reduktormootori ülekande kasutegur on 92 ... 96%.

TEINE OSA

ELEKTRIENERGIA RAKENDAMINE PÕLLUMAJANDUSES

X PEATÜKK

LOOMA- JA LINNUKASVATUSE ELEKTROMEHHANISEERIMINE JA AUTOMATISEERIMINE

§ 1. Üldandmed

Nõukogude Liidu Kommunistliku Partei XXII kongressil vastuvõetud programmis on ette nähtud suurendada lihatoodangut 10 aastaga umbes 3 korda ja 20 aastaga peaaegu 4 korda, piimatoodangut aga 10 aastaga rohkem kui 2 korda ja 20 aastaga rohkem kui 3 korda.

Loomakasvatussaaduste toodangu suurendamine sõltub laudatööde tööviljakuse suurendamisest. Tööviljakust aitavad tõsta eesrindlikud loomapidamisviisid ja töö õige organiseerimine, tootmisprotsesside kompleksne mehhaniseerimine, elektromehhaniseerimine ja automatiseerimine.

Kõige ajakohasemad loomapidamisviisid on tänapäeval veisekasvatuses lehmade vabapidamine, seakasvatuses nuumsigade pidamine suurtes sulgudes ja emiste rühmiti pidamine, linnukasvatuses kanade põrandalpidamine laiades kanalates sügaval allapanul.[1]

Eesrindlik tehnoloogia võimaldab mehhanisme ja automaatikaseadmeid märksa tõhusamalt ja ökonoomselt ära kasutada ning töökulu toodanguühiku kohta tunduvalt vähendada.

Tööde kompleksne mehhaniseerimine loomakasvatuses eeldab kõige täiuslikumate ja säästlikumate masinate kasutamist kõigis tootmisprotsessides ja kõigi töövõtete mehhaniseerimist vastavalt tootmispiirkonna konkreetsetele tingimustele, farmi spetsialiseerumisele ja tootmismahule, loomade söötmise ning pidamise viisidele.

Farmitööde kompleksse mehhaniseerimise puhul tuleb kasutada iga tootmisprotsessi jaoks niisuguseid masinaid ja mehhanisme, millel on ühesugune tootlikkus. Need masinad sooritavad kõiki tootmisprotsessis esinevaid töid voolumeetodil, seega kõige väiksema tööjõu- ja energiakuluga (näiteks lehmade masinlüps lüpsiplatsidel, kui vooluliini kuuluvad ka seadmed piima esmastöötlemiseks).

Farmitööde komplekssseks automatiseerimiseks tuleb kasutada niisuguseid masinaid, mehhanisme ja aparaate, mis tagavad tootmisprotsessi kulgemise ilma inimese osavõtuta, ainult tema aegajalise järelevalve all, näiteks automatiseeritud veevarustus.

Loomakasvatuse tootmisprotsesside mehhaniseerimine on otseses seoses põllumajanduse täieliku elektrifitseerimisega. Käesoleval ajal on kõik sovhoosid ja 90% kolhoosidest elektrifitseeritud. 1963. aastal said põllumajandustarbijad üle 60% elektrienergiast riiklikest jõujaamadest. Lähemas tulevikus ühendatakse kõik sovhoosid ja kolhoosid riiklike energiasüsteemidega või põllumajanduslike elektrijaamadega. See annab võima-

[1] Linnukasvatuses on üha rohkem juurdumas puurispidamine. *Tõlk.*

luse elektrifitseerida täielikult sellised loomakasvatuse tootmisprotsessid nagu söödavalmistus ja -jaotus, veevarustus, lehmalüps, piima esmastöötlemine, lautade siseveod, lammaste pügamine jm.

§ 2. Veevarustuse elektrifitseerimine

Loomakasvatusmajandites kulutatakse iga päev suurel hulgal vett karja jootmiseks, söötade valmistamiseks, lüpsiaparaatide ja piimanõude pesemiseks, ruumide puhastamiseks. Lautadesse vee toomise mehhaniseerimine vabastab laudatöötajad raskest tööst ja vastab ajakohase, suurt toodangut andva ühiskondliku suurkarjakasvatuse nõuetele. Pumbajaamade automatiseerimine tagab usaldatava veevarustuse ilma valveteenistuseta.

Loomafarmid paiknevad üksteisest kaugel. See raskendab nende veega varustamist ühest pumbajaamast, mis nõuaks pikki veetorustikke. Seepärast kasutataksegi elektroautomatiseeritud pumbaseadmeid.

Mehhaniseeritud loomafarmide ajakohane veevarustus hõlmab peale veepumpade elektrimootorite automaatjuhtimise ka loomade jootmise automaate. Nende korral reguleeritakse vee juurdevoolu ja tarvitamist ilma inimese osavõtuta.

Automatiseeritud pumbajaamade korral kasutatakse veevaesed allikad paremini ära, sest vett võetakse neist ühtlasemalt.

Elektripumbajaama seadmete valimine. Kohalikest tingimustest sõltuvalt valitakse veevarustussüsteem kas

1) vee vahetu suunamisega pumbast veetorustikku,
2) vee juurdejuhtimisega veemahuti või surupaagi kaudu või
3) kombineeritud süsteem.

Loomakasvatusmajandites rakendatakse kõige sagedamini teist, osaliselt ka kolmandat süsteemi, mille korral veemahuti paikneb veevarustustorustiku lõpus või keskel ja vett saab võtta enne mahutisse sattumist.

Automaatjuhtimise korral lülitatakse elektripump sisse, kui tasemevõi rõhureleelt saabub signaal, et veemahutis on vesi langenud alumisele ettenähtud tasemele või rõhk surupaagis langenud väikseimale vajalikule väärtusele. Pumba lülitavad välja needsamad releed, kui veetase mahutis ulatub ülemise piirini või rõhk surupaagis saavutab ettenähtud väärtuse. Esmakordselt käivitab seadme teenindav isik.

Veiselautades ehitatakse vee jaotamiseks tavaliselt ülemine jaotustorustik, mille küljest tuuakse alla veekraanide ja jootmisautomaatide juurde harutorud. Tallides piirdutakse ühe magistraaltoruga, mille külge kinnitatakse veevõtukohtadesse kraanid.

Eesrindlike sovhooside ja kolhooside farmides kasutatakse väikesi veemahuteid (mahutavus 2,5 ... 3 m³), mis paigutatakse lauda pööningule. Seal vesi talvel soojeneb. Sellise mahuti korral on vee survekõrgus jootmisautomaatides maksimaalselt 4 m. Kui aga jootmisautomaadid ühendada vahetult välistorustikuga, oleks veesurve neis liiga suur.

Pump (selle tüüp, tootlikkus ja rõhk) valitakse vastavalt veevarustussüsteemile. Tsentrifugaalpumbad on kõige töökindlamad ja nende hooldamine lihtne. Pumba tootlikkus Q_p liitrites tunni kohta leitakse järgmisest seosest:

$$Q_p \geqslant Q_{maks\,t} = k_t k_{õp} Q_{kesk\,t}, \tag{340}$$

kus $Q_{maks\,t}$ on võimalik suurim veekulu liitrites tunni kohta;
k_t — veekulu tunni ebaühtlustegur: asula kohta 1,5 ... 2, joot-

misautomaatidega lauda kohta 2, jootmisautomaatideta lauda kohta 4;

$k_{öp}$ — veekulu ööpäeva ebaühtlustegur: 1,1 ... 1,3;

$Q_{kesk\ t}$ — tunni keskmine veekulu liitrites, mis leitakse ööpäeva keskmise veekulu $Q_{kesk\ öp}$ järgi:

$$Q_{kesk\ t} = Q_{kesk\ öp} : 24. \quad (341)$$

Ööpäeva keskmine veekulu arvutatakse riiklikus standardis (ГОСТ-is) ja NSVL Põllumajanduse Ministeeriumi Veemajandusvalitsuse juhendites olevate normide põhjal.

Veevarustuse arvutamisel arvestatakse eraldi veekulu tuletõrjeks 0,025 ... 0,001 m³/s (25 ... 10 l/s) sõltuvalt majandi või asula ulatusest. Tulekahju eeldatav kestus on 2 ... 3 tundi. Selle veevajaduse peavad rahuldama pump ja veetorustikud või tuleb ette näha tagavara-veemahuti.

Pumba survekõrgus valitakse niisugune, et nõutavates kohtades oleks tagatud vajalik veerõhk. Esimese veevarustussüsteemi puhul ja siis, kui

Tabel 14

Veetarbija	Ööpäeva veekulu			
	veevarustuseta		veevarustusega	
	m³	l	m³	l
Farmides				
Lehm, masinlüpsi korral	0,095	95	0,115	115
Lehm, käsitsilüpsi korral	0,07	70	0,09	90
Lihalehm, pull	0,05	50	0,06	60
Piimavasikas	0,03	30	0,035	35
Mullikas	0,025	25	0,03	30
Hobune	0,045	45	0,05	50
Kuni 1,5 aastane varss	0,035	35	0,04	40
Põrsastega emis	0,06	60	0,08	80
Noorsiga	0,012	12	0,015	15
Kult, tiine emis	0,04	40	0,045	45
Lammas	0,008	8	0,01	10
Kana	0,0005	0,5	0,0005	0,5
Muu lind	0,001	1,0	0,001 ... 0,00125	1 ... 1,25
Garaažides				
Auto			0,14 ... 0,2	140 ... 200
Traktor, kombain			0,12 ... 0,15	120 ... 150
Töökodades				
Metallitöötlemispink			0,35	35
Ühe lukksepatöökoha kohta			0,8	80
Ühe tisleritöökoha kohta			0,2	20
Ühe sepatöökoha kohta			0,4	40
Elukondlik tarve ühe inimese kohta			0,3 ... 0,6	30 ... 60

vesi pumbatakse lahtisesse mahutisse, arvutatakse pumba survekõrgus valemiga

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4, \tag{342}$$

kus H_1 on imikõrgus, s. t. veeallika veetaseme ja pumba telje vaheline kaugus m;

H_2 — tõstekõrgus, s. t. pumba telje ja kõige kõrgema veetarbimispunkti vaheline kaugus m;

H_3 — rõhukadu ehk survekõrguse vähenemine imitorustiku, survetorustiku, kääiiakute, ventiilide ja siibrite takistuse tõttu m;

H_4 — kõrgus, mis tagab teatud väljavoolukiiruse torust, m.

Vee pumpamisel surupaaki määravad vajaliku survekõrguse imikõrgus H_1, tõstekõrgus H_2 (pumba võllist kuni vee ülemise tasemeni surupaagis) rõhukadu H_3 (vee teekonnal pumbast surupaaki) ja väljalülitamiskõrgus H_{vl}. Viimane vastab rõhule p_2 N/m² (at), mille puhul rõhurelee lülitab elektrimootori võrgust välja.

$$H_{vl} = \frac{p_2}{9{,}81} \cdot 10^{-3} \text{ m} \tag{343}$$

ja

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_{vl}. \tag{344}$$

Kui on teada veekulu ja survekõrgus, valitakse tabelitest sobivate andmetega pump, kusjuures arvestatakse ka käitava mootori pöörlemissagedust. On soovitatav mootori ja pumba võlli vahetu sidurdamine. Kui on valitud mootori pöörlemissagedus ja tüüp, täpsustatakse valitud pumba tunnusjoone põhjal tema tootlikkus Q, survekõrgus H ja kasutegur η_p.

Pumba mootori võimsus arvutatakse tuntud valemiga

$$P_m = \frac{Q\gamma H}{\eta_p \eta_{ü}} \text{ W}, \tag{345}$$

kus Q on pumba tootlikkus m³/s;

γ — vedeliku erikaal N/m³ (veel 9,81 N/m³);

H — pumba survekõrgus m;

η_p — pumba kasutegur;

$\eta_{ü}$ — mootori ja pumba vahelise ülekande kasutegur.

Ajami talitlusolukorra selgitamisel lähtume elektriajamiga pumba koormuskõverast (joon. 156). Agregaadi töötamiskestus t_t väljendub valemiga

$$t_t = \frac{V_r}{Q - Q_k} \text{ s}, \tag{346}$$

kus V_r on paagi reguleeritav maht m³;

Q — pumba tootlikkus m³/s;

Q_k — veekulu veevõrgust m³/s.

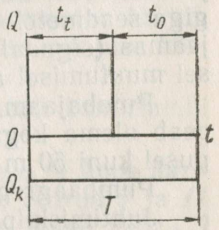
Vaheajakestus t_0 väljendub valemiga

$$t_0 = \frac{V_r}{Q_k} \text{ s}. \tag{347}$$

Pumba lülitamissagedus Z leitakse seosest

$$Z = \frac{1}{T}, \tag{348}$$

kus T on tsükli kestus, mis võrdub $t_t + t_0$.



Joon. 156. Elektriajamiga veepumba koormuskõver

Valemite (346) ja (347) põhjal

$$Z = \frac{1}{\frac{V_r}{Q - Q_k} + \frac{V_r}{Q_k}} = \frac{QQ_k - Q_k^2}{V_r Q}. \tag{349}$$

Veekulu, mille puhul pumba lülitamissagedus on kõige suurem, leiame tingimusest

$$\frac{dZ}{dQ_k} = \frac{1}{QV_r}(Q - 2Q_k) = 0. \tag{350}$$

Lahendanud võrrandi (350), saame:

$$Q_k = \frac{Q}{2}. \tag{351}$$

Seega, kui veekulu võrdub poolega pumba tootlikkusest, on pumba lülitamissagedus kõige suurem. Suurima lülitamissageduse Z leidmiseks asetame valemisse (349) Q_k valemist (351):

$$Z_{max} = \left(\frac{Q^2}{2} - \frac{Q^2}{4}\right) : V_r Q = \frac{Q}{4V_r}. \tag{352}$$

Veepaagi reguleeritav maht

$$V_r = \frac{Q}{4Z_{max}}. \tag{353}$$

Järelikult on ajami normaalseks töötamiseks vaja, et paagi mahu ja pumba tootlikkuse vahel oleks kindel suhe. Tavaliselt $Z_{max} = 0{,}0017$. Viimasel ajal soovitatakse maksimaalseks lülitamissageduseks 0,008 ... 0,017 korda sekundis (30 ... 60 korda tunnis). Sel juhul väheneb veepaagi maht tunduvalt.

Automaatpumbajaamad jagunevad kahte liiki: veemahutiga ja surupaagiga. Veemahutiga seadmeid kasutatakse seal, kus on võimalik paigutada paak kõrge ehitise pööningule, et sellega tagada vajalik veerõhk torudes veetorni ehitamata. Vastupidisel juhul on lihtsam ja sobivam kasutada surupaagiga pumbajaama, milles vajalik veerõhk pumba seisuajal tekitatakse kokkusurutud õhu energia arvel. Joonisel 157 on esitatud surupaagiga pumbajaama hüdraulikaskeem.

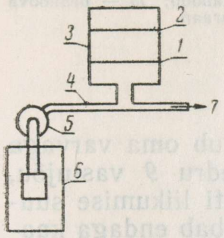
Surupaagiga automaatpumbajaama BƏ-2,5M elektriskeem on esitatud joonisel 158. Selle pumbajaama juhtimiskilp, mis on määratud surupaagiga seadmetele (signaal rõhureleelt), võib töötada ka veetorniga pumbajaamas (signaal tasemereleelt). Seejuures on vajalik, et veetaseme aeglasel muutumisel avaneksid ja sulguksid tasemerelee kontaktid kiiresti.

Pumbajaam BƏ-2,5M on määratud vee võtmiseks šahtkaevust. Ta peab olema kogu aeg võrku lülitatud. Pumbajaama tootlikkus survekõrgusel kuni 50 m on 0,83 ... 1,66 m³/s (3 ... 6 m³/h).

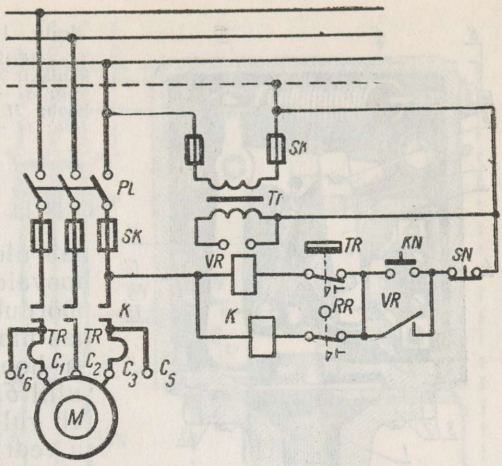
Pumbaagregaat koosneb keerispumbast ja 2,8-kW elektrimootorist.

Juhtimiskilp lülitab pumba mootori automaatselt sisse ja välja, kui rõhk surupaagis saavutab ettenähtud väärtuse, ning kaitseb mootorit liigkoormuse ja lühisvoolu eest.

Enne automaatpumbajaama võrkulülitamist on vaja ta järele vaadata ja veenduda tema korrasolekus.



Joon. 157. Surupaagiga pumbajaama hüdraulikaskeem:
1 — alumine veetase paagis; *2* — ülemine veetase paagis; *3* — surupaak; *4* ja *7* — veetoru; *5* — pump; *6* — veeallikas



Joon. 158. Surupaagiga automaatpumbajaama BƏ-2,5M elektriskeem

Pumbajaama käivitamiseks on vaja sisse lülitada pakettlüliti *PL*, millega juhtimiskilp pingestatakse. Seejärel vajutatakse käivitusnupule *KN*. Vaherelee *VR* pingestub ja sildab oma kontaktidega käivitusnupu. Rõhurelee kontakt *RR* on suletud, sest surupaak on tühi. Seega läbib magnetkontaktori *K* mähist vool, kontaktor rakendub ja lülitab oma peakontaktidega sisse elektrimootori. Mootor *M* käivitub ja pump hakkab suruma vett veetorustikku, vee ülejääk aga koguneb surupaaki. Veetase paagis hakkab tõusma. Kui veetase ulatub ülemise märgini 2 (joon. 157), siis on rõhk paagis tõusnud väärtusele p_2 ja kontakt *RR* avaneb, vool kontaktori mähises katkeb, kontaktori kontaktid avanevad ja mootor seiskub. Surupaaki kogutud vesi voolab kokkusurutud õhu toimel torustikku ja sealt tarbimiskohta. Veevaru paagis väheneb ja rõhk alaneb. Ettemääratud madalaimal rõhul p_1 rõhurelee kontakt taassulgub, kontaktor rakendub uuesti ja kogu tsükkel kordub jälle.

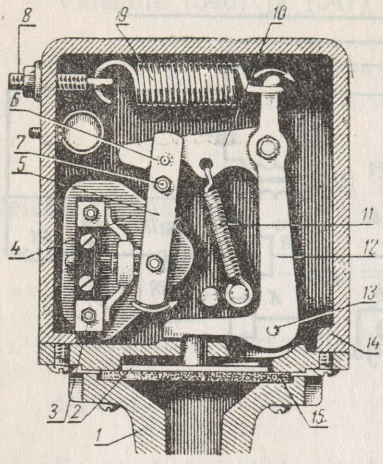
Kontaktori ja vaherelee mähised on arvutatud pingele 220 V, mida tuleb vaheliku paikaseadmisel silmas pidada.

Termoreleede *TR* küttekehad on arvestatud mootori faasivoolule. Sellepärast on juhtimiskilbilt viidud mootori juurde viis juhet, neist kaks klemmidele *C5* ja *C6* termoreleedest mööda, et võrgupingel 220/127 V võimaldada mootori mähiste ühendamist kolmnurka. Termoreleedeks on väga tundlikud iseennistuvad releed TPA-7. Liigkoormusel termorelee *TR* rakendudes vool vaherelee *VR* mähises katkeb, relee sulguvkontakt taasavaneb, kontaktor *K* jääb vooluta, tema kontaktid avanevad ja mootor lülitub välja. Taaskäivitamiseks tuleb pärast mootori liigkoormuse põhjuse kõrvaldamist vajutada uuesti käivitusnupule *KN*.

Pingemadaldustrafo *Tr* pingele 220/36 V on määratud kandelambi toitmiseks pingega 36 V.

Joonisel 159 on kujutatud rõhurelee. Selle osad on kere *14* koos äärikuga *1*, membraan *15* koos kettaga *2*, hoovad *5*, *10* ja *12*, vedrud *9* ja *11* ning kontaktid *3* ja *4*. Kui surupaagis ülerõhk puudub, hoiab vedru *9* hooba *12* äärmises vasakpoolses ja vedru *11* hooba *10* alumises asendis. Seejuures surub hoova *10* alumine lohk hoova *5* ülemises otsas olevale rullile *6*. Hoova *5* vastasots hoiab kontaktid *3* ja *4* suletud asendis.

Rõhu tõusmisel surupaagis kummub membraan *15* ülespoole ja lük-



Joon. 159. Rõhurelee:
1 — äärik; *2* — ketas; *3* — liikumatu kontakt; *4* — liikuv kontakt; *5* — liikuva kontakti hoob; *6* — rull; *7* — hoova telg; *8* — seadekruvi; *9* — pinguldusvedru; *10* — kipphoob; *11* — kippvedru; *12* — peahoob; *13* — peahoova telg; *14* — kere; *15* — kummimembraan

kab üles ketta *2*, mis surub oma varvaga hoovale *12*. Ületanud vedru *9* vastujõu, pöördub hoob *12* kellaosuti liikumise suunas ümber telje *13* ja tõmbab endaga kaasa hoova *10*, mille alumine lohk liugub rullil *6*. Kui hoova *10* lohu järsk serv ületab rulli, kippab rull hoova *10* kaldserva ja vedru *11* toimel vasakule, pöörates hooba *5* vastu kellaosuti liikumise suunda. Selle tulemusena kontaktid *3* ja *4* lahutuvad ja kontaktori mähist läbiv vool katkeb.

Rõhu alanedes tõmbab vedru *9* hoovad jälle algasendisse, kontaktid *3* ja *4* lülitatakse silmapilkselt kokku, kontaktori mähist läbib vool ja kontaktor taasrakendub. Relee häälestatakse teatud sisse- ja väljalülitamisrõhule seadekruviga *8*.

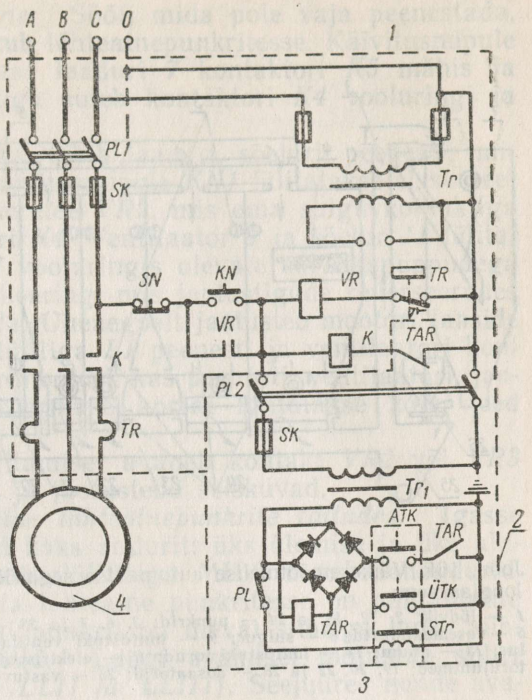
Katsetused ja kasutamiskogemused tõendavad, et kirjeldatud juhtimiskilp tagab automaatpumbajaama usaldatava töö ja elektrimootori kaitse, teda on hõlpus paigaldada ja ta vastab ohutustehnika nõuetele.

Joonisel 160 on kujutatud ujukita automaatpumbajaama elektriskeem. Selle pumbajaama koostisosad on juhtimiskilp *1*, elektrimootor *4*, juhtimispaneel *2* ja ujukita elektroodtasemeandur *3*.

Pumbajaam on toidetav võrgust pingega 380/220 või 220/127 V ja töötab kuni 7-kW elektrimootoriga keskkonna temperatuuril —40 kuni +35° C ning õhuniiskusel kuni 100%. Külmal aastaajal soojendatakse tasemeanduri ülemist kontakti jäätumise vältimiseks. Soojendustrafo *Tr* võimsus on 100 W.

Enne automaatpumbajaama käivitamist pingestatakse lülitiga *PL1* juhtimiskilp ja lülitiga *PL2* antakse toide juhtimispaneelile *2*. Pumba esmakordseks käivitamiseks surutakse käivitusnupule *KN*. Sellega pingestatakse vaherelee *VR* mähis, kontaktori *K* mähis ja juhtimispaneel *2*. Vaherelee rakendub ning sildab oma kontaktiga käivitusnupu *KN*. Ühtlasi rakendub kontaktor, sest vee puudumisel veemahutis või madala veetaseme korral on tasemerelee *TAR* kontakt suletud ja pumba mootor järelikult võrku lülitatud. Mootor käivitub ja paneb pumba tööle. Pump surub vett torustikku ja veemahutisse. Veetase mahutis hakkab tõusma.

Kui vesi on tõusnud alumise tasemeni, siis alumise veetaseme anduri kontakt *ATK* sulgub ja valmistab ette tasemerelee *TAR* isehoidumise vooluringi. Vee tõustes ülemise tasemeni sulgub ülemise veetaseme anduri kontakt *ÜTK* ja tasemerelee *TAR* mähist läbib vool ning relee rakendub. Relee *TAR* sulguvkontakt sulgub ja sildab ülemise veetaseme anduri kontakti *ÜTK* avanevkontakt aga avaneb, katkestades voolu kontaktori *K* mähises. Kontaktor ennistub ja lülitab pumba mootori välja. Vee tarvitamisel hakkab veetase mahutis alanema. Mootori töös tekkinud vaheaja algul avaneb ülemise veetaseme anduri kontakt *ÜTK*, millega lülitus valmistatakse ette edasiseks tööks. Kui vesi on alanenud alumisele tasemele, siis kontakt *ATK* avaneb. Sellega lülitub tasemerelee *TAR* mähis välja



Joon 160. Automaatpumbajaama elektriskeem

ja relee ennistudes tema avanevkontakt sulgub, lülitades sisse kontaktori *K* mähise. Kontaktor rakendub ja mootor taaskäivitatakse. Tasemerelee *TAR* sulguvkontakt avaneb, vältides mootori enneaegset väljalülitumist.

Seadme normaalse töö korral saab vaherelee toite läbi oma suletud kontakti *VR* ja termoreleede avanevkontaktide.

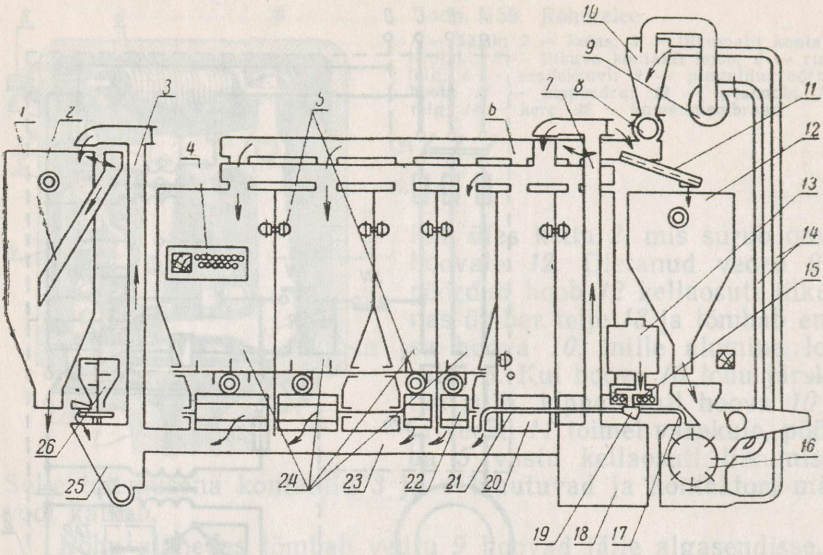
Pumbajaam lülitub välja kahel juhul: 1) tahtlikul vajutamisel seiskamisnupule *SN* ja 2) termoreleede *TR* rakendudes.

Vee ammutamiseks kuni 100 m sügavustest puurkaevudest varustatakse automaatpumbajaamad sukeldatava elektripumbaga. Sukeldatav elektripumbaagregaat koosneb veega täituvast püstvõlliga mootorist võimsusega 2,5, 12, 35 või 60 kW pingele 380 V ja mitmeastmelisest tsentrifugaalpumbast. Sarja ПЭХ 5006 kuuluva juhtimiskilbi elektrilülitus on ühesugune kõigile agregaatidele ning võimaldab pumbaagregaadi automaat- ja käsitsijuhtimist ning tagab elektrimootori kaitse liigkoormuste ja lühiste eest, samuti kuivalt toimuva tühijooksu eest.

§ 3. Söödavalmistamise ja -jaotamise elektromehhaniseerimine

Väikesemõõtmeline automaatne segasöödaagregaat AMK-2. Põllumajandus saab hulgaliselt jahu-, tangu-, õli-, suhkru- jm. tööstuse jäätmeid. Need jäätmed, rikastatuna vitamiinide, antibiootikumide ja mikroelementidega, on väärtuslikuks söödaks loomadele ja lindudele.

Kiievi Riiklik Erikonstrueerimisbüroo (ГСКБ) koos Üleliidulise Põllumajandusmasinate Instituudiga (ВИСХОМ) on konstrueerinud väikesemõõtmelise automaatse segasöödaagregaadi AMK-2, mis puhastab ja



Joon. 161. Väikesemõõtmelise automaatse segasöödaagregaadi AMK-2 tehnoloogiaskeem:

1 — lõdvik; *2*, *12*, *18* ja *24* — punkrid; *3*, *6*, *7* ja *23* — teod; *4* — signalisatsioonikilp; *5* — tasemeandurid; *8* — sulgur; *9* — imitõstuki ventilaator; *10* — tsüklon; *11* — sõelur; *13* — anum; *14* — imitõstuki torud; *15* — elektrisoojendi; *16* — peenesti; *17* ja *21* — torujuhtmed; *19*, *20*, *22* ja *26* — dosaatorid; *25* — vastuvõtusegisti

peenestab lähteained, valmistab heinajahu, doseerib ja segab söödad ning manustab neisse söödasiirupit, vitamiine, antibiootikume ja mikroelemente. Agregaadi tootlikkus on 0,56 ... 0,83 kg/s (2 ... 3 t/h). Teda teenindavad üks masinist ja kaks-kolm abitöölist. Agregaadile on paigaldatud kuus elektrimootorit koguvõimsusega 23,3 kW: peenestile 14-kW, laadurile 1,7-kW, imitõstuki ventilaatorile 2,8-kW, jaotustigudele 1-kW, sõelurile 1-kW, segamistigudele koos dosaatoritega 2,8-kW elektrimootor.

Joonisel 161 on esitatud agregaadi tehnoloogiaskeem. Punkrist *18* tõstetakse lähteaine püstteoga *7* üles. Peenestatud lähteaine kantakse jaotusteoga *6* punkri *24* ühte sektsiooni. Peenestamata lähteaine suunatakse puhastamiseks sõelurile *11*, seejärel punkrisse *12* ja sealt peenestisse *16*, millel on kaks tööorganit: lõikav ja purustav. Peenestatud sööt tõstetakse imitõstukitega *14* tsüklonisse *10*. Läbinud sulguri *8* ja jaotusteo *6*, satub sööt punkri *24* mingisse sektsiooni.

Hõrendus imitõstukis tekitatakse ventilaatoriga *9*. Punkri *24* sektsioonidest satub sööt mahtdosaatori *22* või dosaatori *20* kaudu koguvasse segamisteosse *23*. Anumast *13* ammutatav ja automaatse elektrisoojendiga *15* soojendatud söödasiirup suunatakse doseerimisseadeldisega *19* torujuhtme *21* kaudu segamisteosse *23* või torujuhtme *17* kaudu peenestisse *16*.

Pärast segamist satub sööt vastuvõtusegistisse *25*, kuhu kolmest mikrodosaatorist *26* manustatakse vitamiinid ja teised lisandid. Valmis sööt toimetatakse teoga *3* punkrisse *2* või lõdviku *1* kaudu söödajaoturi punkrisse. Punkris *24* on alumise ja ülemise taseme tasemeandurid *5*, millel on mikrolülitid. Signaal punkri täitumise või tühjenemise kohta lähetatakse signalisatsioonikilbile *4*. Agregaat on automatiseeritud.

Joonisel 162 on esitatud agregaadi juhtimisahelate põhimõtteskeem. Agregaadi toiteahelaid pole seal kujutatud. Käsitleme selle lülituse talitlust põhiliste töövõtete sooritamisel.

1. *Lähteainepunkrite laadimine.* Sööt, mida pole vaja peenestada, läbib laaduri ja jaotusteo ning satub lähteainepunkritesse. Käivitusnupule *KN3* vajutamisega lülitatakse sisse laaduri 7 kontaktori *K5* mähis ja vaherelee *VR3*, mis oma kontaktiga suleb kontaktori *K4* vooluringi ja lülitab sisse jaotusteo *6*.

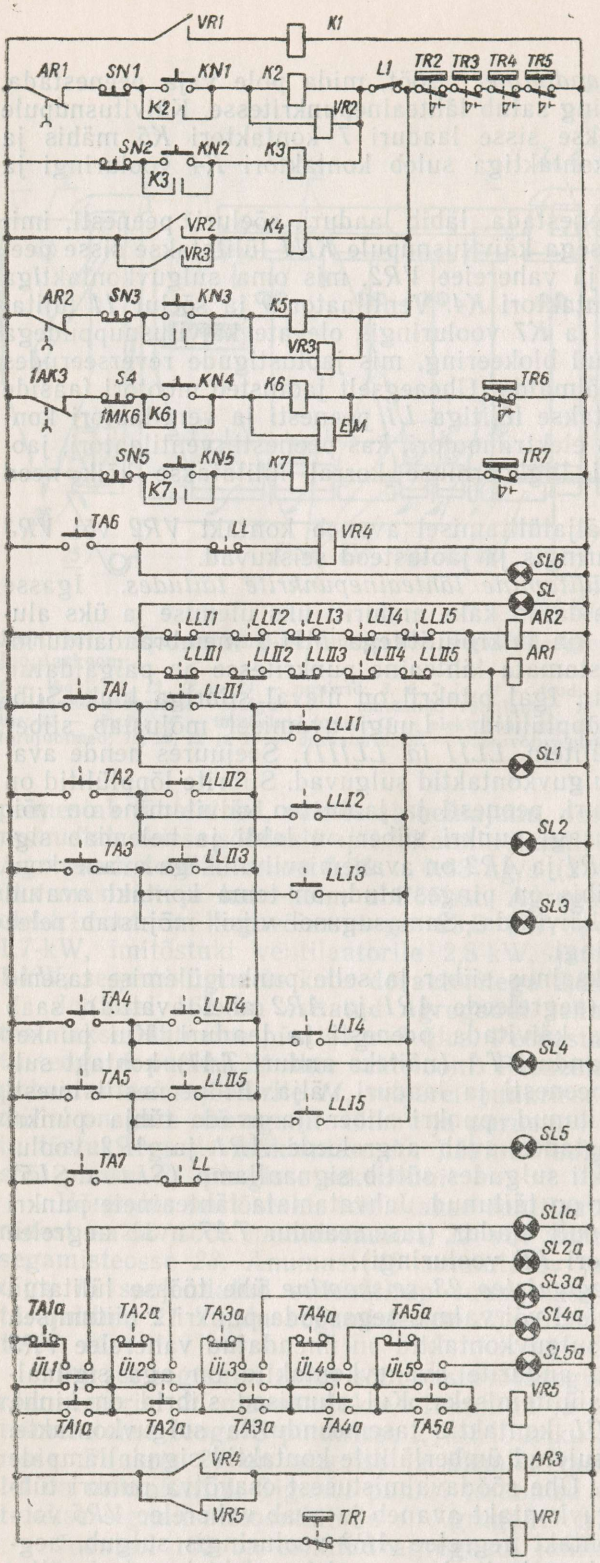
Sööt, mida on vaja peenestada, läbib laaduri, sõeluri, peenesti, imitõstuki ja jaotusteo. Vajutusega käivitusnupule *KN1* lülitatakse sisse peenesti kontaktori mähis *K2* ja vaherelee *VR2*, mis oma sulguvkontaktiga lülitab sisse jaotusteo *6* kontaktori *K4*. Ventilaator *9* ja sõelur *11* lülitatakse sisse kontaktorite *K3* ja *K7* vooluringis olevate käivitusnuppudega *KN2* ja *KN5*. On ette nähtud blokeering, mis jaotustigude reverseerudes peenesti sisselülitamist ei võimalda. Üheaegselt jaotusteo mootori faaside ümberlülitamisega katkestatakse lülitiga *L1* peenesti ja ventilaatori kontaktorite toitering. Mistahes elektrimootori, kas peenesti, ventilaatori, jaotusteo või laaduri mootori liigkoormuse korral lülitatakse kõik need mootorid välja.

Peenesti või laaduri väljalülitamisel avaneb kontakt *VR2* või *VR3* kontaktori *K4* mähise vooluringis ja jaotusteod seiskuvad.

2. *Laadimisliini väljalülitamine lähteainepunkrite täitudes.* Igasse lähteainepunkrisse on paigaldatud kaks andurit: üks ülemise ja üks alumise taseme andur. Need on mikrolülititega МИ-3 membraanandurid. Valmis segasööda ja peenestamata lähteaine punkritesse on paigaldatud ainult ülemise taseme andur. Igal punkril on üleval siibriga luuk. Siibrite teele on paigutatud lõpplülitid. Luugi avamisel mõjustab siiber lõpplüliteid (näiteks lõpplüliteid *LLI1 ja LLIII*). Seejuures nende avanevkontaktid avanevad ja sulguvkontaktid sulguvad. Siibrite lõpplülitid on ühendatud selliselt, et laaduri, peenesti ja jaotusteo käivitamine on võimalik, kui vähemalt üheainsagi punkri siiber on lahti ja helendab signaallamp *SL*. Aegreleedel *AR1* ja *AR2* on avanemisviivitusega avanevkontakt. Kui aegrelee *AR1* mähis on pingestatud, on tema kontakt avatud ja peenestit pole võimalik käivitada. Samasugusel viisil mõjustab relee *AR2* laaduri juhtimisvooluringi.

Kui on lahti kas või üksainus siiber ja selle punkri ülemise taseme anduri kontakt on avatud (aegreleede *AR1* ja *AR2* ahel avatud), saab käivitusnupule vajutamisega käivitada peenesti ja laaduri. Kui punker täitub, siis ülemise taseme anduri *TA* (näiteks anduri *TA1*) kontakt sulgub ning aegrelee lülitab peenesti ja laaduri välja. Et peenestit uuesti käivitada, tuleb sulgeda täitunud punkri siiber ja avada tühja punkri oma, mis lõpplüliteid mõjustades avab aegreleede *AR1* ja *AR2* vooluringid. Tasemeanduri kontakti sulgudes süttib signaallamp (*SL1 ... SL5*) ja näitab, missugune punker on täitunud. Jahvatamata lähteainete punkri täitudes lülitatakse välja ainult laadur (tasemeandur *TA7* avab aegrelee *AR2* kaudu laaduri kontaktori *K5* vooluringi).

3. *Dosaatorite 22 ja segamisteo 23 seiskamine* ühe töösse lülitatud lähteainepunkri *24* tühjenemisel või valmis segasööda punkri *2* täitumisel. Alumise taseme andurite *5* sulguvkontaktid on ühendatud vaherelee *VR5* mähisega jadamisi. Samade andurite avanevkontaktid on aga signaallampide *SL1a ... SL5a* väljalülitamiseks. Kui alumised siibrid on kinni, siis sildavad ümberlülitite *ÜL* kontaktid tasemeandurite sulguvkontakte. Kui siibrid on lahti, siis on suletud ümberlülitite kontaktid signaallampide *SL1a ... SL5a* vooluringides. Ühe söödavalmistusest osavõtva punkri tühjenemisel tasemeanduri sulguvkontakt avaneb ja avab vaherelee *VR5* vooluringi. Vaherelee avanevkontakt aegrelee *AR3* vooluringis sulgub, aegrelee rakendub ning lülitab dosaatorite ja segamisteo elektrimootori välja. Ühtlasi suleb elektromagnet söödasiirupikraani. Samaaegselt süttib sig-



Joon. 162. Automaatse segasöödaagregaadi AMK-2 juhtimisahelate põhimõtteskeem

naallamp (*SL1a*... *SL5a*), mis näitab, missugune punker sai tühjaks. Valmis segasööda punkri täitumisel sulgub ülemise taseme anduri *TA6* kontakt, selle kaudu helendub signaallamp *SL6* ja pingestub relee *VR4*, mis relee *AR3* vahendusel lülitab välja kontaktori *K6*, ning dosaatorid ja segamistigu seiskuvad. Elektrisoojendit lülitatakse termoreleega *TR1*.

Elekterkäitusega universaalne täiustatud söödapurusti ДКУ-М on määratud söödateravilja peenestamiseks, heinajahu valmistamiseks, õlikookide, maisivarte ja mineraalsööda purustamiseks kuni 2 mm läbimõõduga osakesteks ja põhu peenestamiseks kuni 25 mm pikkusteks lõikudeks. Söödapurusti ДКУ-М tootlikkus on teravilja jahvatamisel kuni 0,33 kg/s (1200 kg/h).

Söödapurustit käitab asünkroonmootor võimsusega 10 kW ja pöörlemissagedusega $n_0 = 25$ p/s (1500 p/min). Mootori võll ühendatakse purusti peavõlliga nukkmuhvi kaudu. Ühendusmuhvi on võimalik kasutada ka rihmarattana, kui söödapurustit käitatakse mingi teise mootoriga. Magnetkäiviti ja kinnise ehitusega nupukilp on paigaldatud agregaadi külge. Söödateravilja töötlemisel teenindavad masinat kaks, koresöötade töötlemisel kolm inimest.

Elekterkäitusega universaalne söödapurusti УДК-Т-ВИЭСХ on määratud teravilja, piim- ja piimvahaküpse maisi haljasmassi, rohu, juur- ja mugulvilja, kõrvitsaliste, heina, igasuguste põllumajandustoodangu ning toiduainete tööstuse jäätmete, samuti loomasöödale manustatavate mineraalainete peenestamiseks.

Märgsöötadest teeb purusti ühtlast pudrutaolist pastat, kuivsöötadest jahu või jämedateralist jahvatist. Tootlikkus teravilja jahvatamisel on kuni 0,56 kg/s (2 t/h), juurviljade purustamisel kuni 1,4 kg/s (5 t/h), söödasegude valmistamisel kuni 0,83 kg/s (3 t/h).

Söödapurustit käitab 20-kW elektrimootor. Pöördemomendi ülekandmiseks mootori võllilt purusti rootori võllile ja sealt edasi teo ja ventilaatori ühisele võllile kasutatakse kiilrihmaülekannet, tiguvõllilt tiiviktrumlile ja söötetransportöörile ülekandmiseks aga kettaülekannet. Mootor on monteeritud masina raamile.

Koresöödapeenesti ИГК-30А. Peenesti on määratud heina, põhu, maisivarte jm. koresööda peenestamiseks ning peenestatud massi toimetamiseks torude kaudu tarbimis- või säilituspaika. Peenestatud mass koosneb 1...3 cm pikkustest osakestest ja see toimetatakse kuni 20 m kaugusele või kuni 7 m kõrgusele. Tootlikkus põhu peenestamisel on kuni 0,83 kg/s (3 t/h).

Ülekanne mootorilt masinale toimub kiilrihmaülekandega. Rootori pöörlemissagedus on 15...16,7 p/s (900...1000 p/min). Tarbimisvõimsus 22 kW.

Elekterkäitusega juurviljapesija-lõikur МРК-5 on määratud juurvilja pesemiseks, peenestamiseks ja töödeldud sööda laadimiseks veokisse või teise masinasse. Tootlikkus kuni 1,4 kg/s (5 t/h). Masinat käitab kiilrihmülekande kaudu 2,8-kW asünkroonmootor. Kiilrihmu saab pinguldada elektrimootori nihutamisega piki kinnitusaluse juhtsooni. Masinat teenindavad kaks inimest.

Elektrifitseeritud jaotustransportöör ТВК-80 on määratud peale puhta jõusööda veel igasuguse muu sööda jaotamiseks veiselautades. Tootlikkus silo jaotamisel on kuni 3,8 kg/s (13,8 t/h). Seadme põhisõlmedeks on laadimispunker koos pinguldusseadeldisega, ketid koos kraapidega, söödakünad ja elektrimootoriga ajam.

Transportöör paigaldatakse veiselauda keskele ja seda täidetakse otsast söötekolu kaudu. Kolu renni vahesein suunab sööda ühtlaselt kraaptransportööri kahele harule — söödakünade parem- ja vasakpoolsesse

sektsiooni. Kraabid on ainult keti ühel poolel ja liiguvad söödakünasid pidi kiirusega 0,165 m/s. Puidust söödakünadel on kahekordne põhi. Ülemine — lauspõhi — on transportööri kraapidega haru jaoks, alumine — restpõhi — transportööri kraapideta haru jaoks. Sööt laaditakse kolusse traktoriga veetava söödajaoturi abil.

Transportööri käitab 7-kW elektrimootor reduktori ja kettülekannete kaudu. Mootorit võib juhtida poolautomaatselt: mootor käivitatakse käivitusnupule vajutamisega ja seisatakse sellega, et transportööri keti küljes olev nukk surub lõpplülitile söödajaotustee lõpus või lõpplülitile keti tühjalt lähteasendisse tagasi liikumisel.

Elektrohüdraulilist söödajaotamist rakendatakse edukalt mõnedes sigade nuumamise majandites, kus söödana tarvitatakse piima-, õlle- või jahutööstuse jäätmeid. Looma ööpäevane sööt sisaldab 2,5 kg petipiima, 1,5 kg õlleraba, 2 kg maisijäätmeid, 2,5 kg segasööta ja 1 kg jahutolmu.

Sellise nuumsigala ühel küljel paiknevad söötmisautomaadid, teisel küljel magamisasemed. Külgseintesse on tehtud avad, mille kaudu sead pääsevad jalutusaeda.

Vesi pumbatakse sigalasse pumbaga, mille tootlikkus on 0,008 m^3/s (30 m^3/h) ja mis töötab 12 h ööpäevas.

Pärmistamisseadmest satub sööt 2,8-kW elektrimootoriga käitatavasse labasegistisse. Seal segatakse sööt hoolikalt veega vahekorras 1 : 4. Segistist valgub sööt isevoolu teel 20-kW elektrimootoriga käitatava pumba (ava 100 mm) sissevoolukambrisse. Pump surub sööda 10 cm sügavusse põranda alla paigaldatud 150-mm torude kaudu sigala söötmisautomaatidesse, ülejääk aga voolab segistisse tagasi. Torustiku üldpikkus on 486 m ja ta täitub söödaga 8 ... 10 minuti jooksul. Söödapump töötab söötmiste ajal kokku 3 ... 4 h ööpäevas. Toidetakse 3 korda päevas. Kord ööpäevas torusid pestakse. Söödajäätmed uhutakse veega segistisse, kus need segatakse värske söödaga.

Söötmiste vaheaegadel torustikus survet pole, künas olev ujuk langeb allapoole ja kerakujuline klapp avab vedelale söödale juurdepääsu künasse. Kui söödakünа on vajalikul määral täitunud, tõuseb ujuk nii kõrgele, et ta suleb oma vardaga kerakujulise klapi. Sööda juurdevool lakkab. Samasugune on ka jootmisautomaatide põhimõte.

Vee ja virtsa äravoolu tagamiseks on sigala tsementpõrand ehitatud väikese kaldega keskkoha poole, kus paiknevad metallrestiga kaetud virtsakogumiskaevud. Kogumiskaevudest voolab virts 300-mm läbimõõduga asbesttorusid mööda isevoolu teel virtsahoidlasse.

Elektrifitseeritud vibrohaaratsiga laadur on loodud Üleliidulises Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudis (ВИЭСХ) ning määratud silo väljalaadimiseks siloaukudest ja -kraavidest, samuti sõnniku väljalaadimiseks sõnnikuhoidlast. Laaduri andmed on esitatud tabelis 15.

Laadur (joon. 163) kujutab endast haaratsiga *3* sildkraanat *1*, mis liigub piki siloauke *8* puitalusele *9* asetatud latt- või nurkterasest rööpaid mööda. Haaratsi omakaalust küünte süvistamiseks ja koorma haaramiseks ei piisa, sest silo (sõnnik) on üsna tihe. Vibratsiooni mõjul aga materjali vastupanu küünte sissetungimisele väheneb mitmekordselt.

Vibratsiooni tekitamiseks on paigutatud haaratsi raamile *10* elektrimootor *11*, mis paneb pöörlema ekstsentriku *15*. Raamile on liigenditega kinnitatud kaks küüntega *13* varba *12*. Mõlemad varvad on ühendatud raamiga nelja kepsu *14* kaudu, omavahel aga liigenditega *16*. Küüsi hoiab suletud asendis link *17*, mis hambub hammaslati *18* süvikutesse. Küüned eemalduvad koorma kaalu ja haaratsi omakaalu mõjul, kui ekst-

Tabel 15

Iseloomustussuurus	Andmed
Tõstevõime kg	300
Laadimiskõrgus m	2,5
Sügavus	Piiramatu
Talitlustsükli kestus s	60
Vintsi mootori võimsus kW	2,8
Vibraatori mootori võimsus kW	1
Elektrienergia kulu J/kg	1080
„ „ kWh/t	0,3
Piirmõõtmed m:	
pikkus	10
laius	2,5
suurim kõrgus	4
tugedevaheline kaugus	5,4
Laaduri mass koos vibrohaaratsiga kg	850
Teenindavate isikute arv	1

sentriku võlliga jäigalt ühendatud nukk *19* surub lingi *17* hammaslati süvikust välja.

Vibrohaaratsit *26* tõstetakse ja langetatakse trossiga, mis ühendab haaratsi raami vintsi trumliga *22*, mida tigureduktori kaudu käitab elektrimootor *20*.

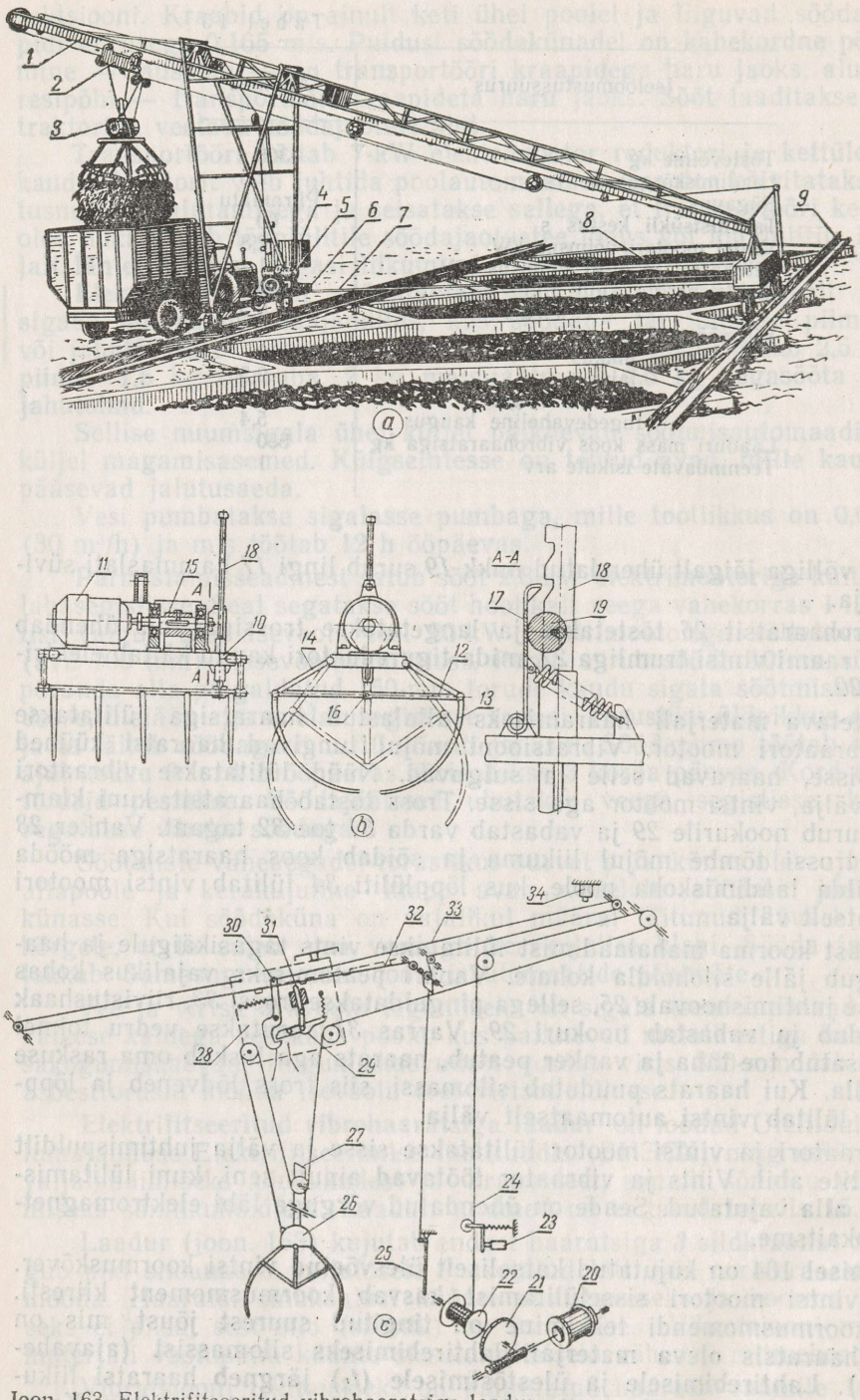
Tõstetava materjali haaramiseks allalastud haaratsiga lülitatakse sisse vibraatori mootor. Vibratsiooni mõjul tungivad haaratsi küüned materjalisse, haaravad selle ja sulguvad. Nüüd lülitatakse vibraatori mootor välja, vintsi mootor aga sisse. Tross tõstab haaratsit, kuni klamber *27* surub nookurile *29* ja vabastab varda *31* toe *32* tagant. Vanker *28* hakkab trossi tõmbe mõjul liikuma ja sõidab koos haaratsiga mööda kraanasilda laadimiskoha poole, kus lõpplüliti *34* lülitab vintsi mootori automaatselt välja.

Pärast koorma mahalaadimist lülitatakse vints tagasikäigule ja haarats liigub jälle silohoidla kohale. Vankri peatamiseks vajalikus kohas surutakse juhtimishoovale *25*, sellega pinguldatakse trossi *33*, riivistushaak *30* pöördub ja vabastab nookuri *29*. Varras *31* surutakse vedru toimel üles, ta satub toe taha ja vanker peatub, haarats aga laskub oma raskuse mõjul alla. Kui haarats puudutab silomassi, siis tross lõdveneb ja lõpplüliti *23* lülitab vintsi automaatselt välja.

Vibraatori ja vintsi mootor lülitatakse sisse ja välja juhtimispuldilt nupplülitite abil. Vints ja vibraator töötavad ainult seni, kuni lülitamisnupp on alla vajutatud. Seade on ühendatud võrguga läbi elektromagnet- ja termokaitsme.

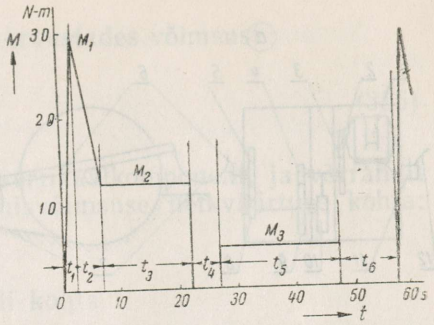
Joonisel 164 on kujutatud katseliselt ülesvõetud vintsi koormuskõver. Pärast vintsi mootori sisselülitamist kasvab koormusmoment kiiresti. Suure koormusmomendi tekkimine on tingitud suurest jõust, mis on vajalik haaratsis oleva materjali lahtirebimiseks silomassist (ajavahemikul t_1). Lahtirebimisele ja ülestõstmisele (t_2) järgneb haaratsi liikumine (t_3) piki kraanasilda, mille jooksul koormusmoment ei muutu. Koormusmoment, mis vastab haaratsi tühikäigule, on tunduvalt väiksem töökäigu koormusmomendist, sest tühi haarats liigub kallakut mööda alla.

Vintsi mootor töötab vaheajalises talitluses. Suhteline lülitatuskestus on aga võrdlemisi pikk:



Joon. 163. Elektrifitseeritud vibrohaaratsiga laadur:

a — laadur töös; *b* — vibrohaarats; *c* — kinemaatikaskeem; *1* — sildkraana; *2* ja *28* — liikuv vanker; *3* ja *26* — vibrohaarats; *4* — juhtimispult; *5* — tõstevints; *6* — vanker; *7* — käsiajam kraana liigutamiseks; *8* — siloauk; *9* — puitalus; *10* — haaratsi raam; *11* ja *20* — elektrimootor; *12* — varb; *13* — küüs; *14* — keps; *15* — ekstsentrik; *16* — liigend; *17* — link; *18* — hammaslatt; *19* — nukk; *21* — reduktor; *22* — trummel; *23* ja *34* — lõpplüliti; *24* — tross; *25* — juhtimishoob; *27* — klamber; *29* — nookur; *30* — riivistushaak; *31* — varras; *32* — tugi; *33* — juhtimistross



Joon. 164. Laaduri vintsi koormuskõver

$$\varepsilon = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6} = \frac{42}{57} = 0{,}74.$$

Sellise suhtelise lülitatuskestuse puhul on soovitatav kasutada üldotstarbelisi elektrimootoreid, mis on arvutatud kestvale talitlusele, pöörlemissagedusega 24,2 p/s (1450 p/min).

Vintsi elektrimootori võimsus arvutatakse ekvivalentmomendi järgi. Joonisel 164 esitatud koormuskõvera puhul ekvivalentmoment

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{\left(\frac{M_1}{\sqrt{3}}\right)^2 t_1 + \frac{M_1^2 + M_1 M_2 + M_2^2}{3} t_2 + M_2^2 t_3 + M_3^2 t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\left(\frac{29{,}4}{\sqrt{3}}\right)^2 2 + \frac{29{,}4^2 + 29{,}4 \cdot 11{,}9 + 11{,}9^2}{3} \cdot 5 + 11{,}9^2 \cdot 15 + 4{,}6^2 \cdot 20}{57}} = 9{,}8 \text{ Nm.}$$

Võimsus

$$P_{ekv} = M_{ekv} 2\pi n_n = 9{,}8 \cdot 2\pi \cdot 24{,}2 = 1490 \text{ W.}$$

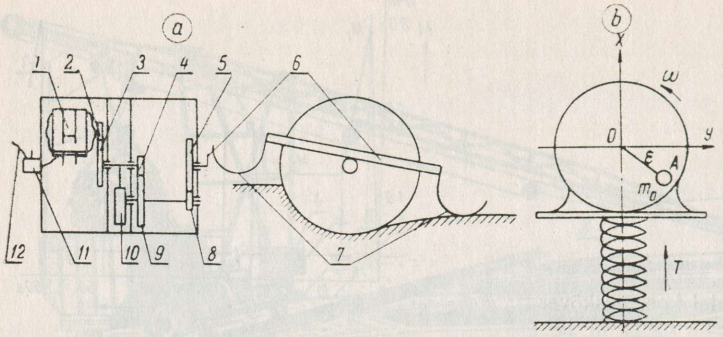
Valime ühtlussarja AO elektrimootori lähima suurema võimsusega 1,7 kW. Kontrollime valitud mootorit ülekoormuse suhtes. Valitud mootori maksimaalmoment

$$M_v = \mu_v M_n = \mu_v \frac{P}{2\pi n_n} = 2 \cdot \frac{1700}{2\pi \cdot 24{,}2} = 22{,}45 \text{ Nm}$$

on väiksem kui maksimaalne koormusmoment, mis võrdub 29,4 Nm. Järelikult pole valitud mootori momendiga ülekoormatavus küllaldane ning tuleb võtta 2,8-kW mootor, mille maksimaalmoment on 36,8 Nm.

Vibrorulltambits silomassi tihendamiseks. Silo valmistamise tehnoloogia nõuab sileeritava haljasmassi head tihendamist hoidlas. Tihedas massis on kõige soodsamad arenemistingimused piimhappebakteritel. Nende abil sööt konserveeritaksegi.

Silomassi tihendamiseks silotornides ja -kraavides on Moskva Põllumajandusinseneride Instituudis (МИИСП) loodud masin, milles on rakendatud vibratsiooni. Selles masinas tekitatakse kere võnkumine tema sees oleva keha ekstsentrilise pöörlemisega. Tihenemine tekib kere korduvatest löökidest silomassi pihta. Katseliselt on kindlaks tehtud, et vibraatori tõhusus kasvab vastavalt võnkesageduse ja -amplituudi suurenemisele. Kuid sagedust üle 10 Hz (600 võnke minutis) ei ole vaja suuren-



Joon. 165. Vibrorulli kinemaatikaskeem (*a*) ja arvutusskeem (*b*): *1* — elektrimootor; *2*, *3*, *4*, *5*, *8* ja *9* — hammasrattad; *6* — raam; *7* — tugikaared; *10* — ekstsentrik; *11* — vooluvõttur; *12* — kaabel

dada, sest sellega silomassi märgatavat tihenemist ei kaasne. Et vibraatori tihendusvõime oleks suurem, on kõige otstarbekam suurendada võnkeamplituudi. Selleks suurendatakse ekstsentriliselt pöörleva keha massi. Konstruktiivsetel kaalutlustel pole otstarbekas suurendada amplituudi üle 10 ... 15 mm.

Vibrorulltambits on õõnes metallsilinder, mille sisse on paigaldatud elektrimootor, ekstsentriline koorem ja mehhanism rulli edasiliikumiseks. Elektrienergiaga toidetakse rulli painduva kaabli kaudu. Et kaabel rulli pöörlemisel ei keerduks, on vibrorullil eriline vooluvõttur.

Rulli sees (joon. 165) kantakse elektrimootori *1* pöördemoment hammasrataste *2* ja *3* kaudu üle ekstsentriku *10* võllile ja sealt edasi hammasrataste *4* ja *9* kaudu hammasrattale *8*. Hammasratas *5* ühendatakse jäigalt raamiga *6*. Raam, toetudes silomassile, pidurdab hammasratast *5*, mistõttu hammasratas *8* pöörleb koos kogu rulliga ümber hammasratta *5* ja rull veereb mööda silomassi. Väljapoole rulli on kinnitatud vooluvõttur *11*, millega on ühendatud painduv kaabel *12*.

Vibraatori ja tihendatava keskkonna vahelist koostoimet peegeldab ligikaudselt arvutusskeem joonisel 165,*b*. Punkti *A* koondatud ekstsentriliselt paiknev mass m_0 pöörleb ümber vibraatori telje nurkkiirusega ω. Silomassi elastsus on asendatud vedru elastsusega, sisehõõrdejõud aga jõuga *T*, mis loetakse võrdeliseks vibraatori liikumise kiirusega. Silomassi vastumõju horisontaalkomponenti ei arvestata.

Valitud mudel võimaldab rakendada vibraatori kere võnkumise analüüsimisel lineaarvõnkumise teooriat. Sellisel juhul väljendab vibraatori vertikaalset võnkumist järgmine võrrand:

$$x = b \sin(\omega t - \varphi), \tag{354}$$

kus x on vibraatori vertikaalne nihe;
b — võnkeamplituud;
φ — nihkenurk deformeeriva jõu (antud juhul tsentrifugaaljõu vertikaalkomponendi) ja keskkonna deformatsiooni vahel.

Võnkeamplituud b sõltub omakorda tsentrifugaaljõust, vibraatori massist ja tihendatava keskkonna füüsikalis-mehaanilistest omadustest.

Võnkumissagedusel, mis on lähedane süsteemi omavõnkesagedusele, ilmneb resonants. Sel juhul kasvab võnkeamplituud tunduvalt. Resonantsi maksimum sõltub tihendatava keskkonna füüsikalis-mehaanilistest omadustest — elastsusest ja sitkusest.

Leiame vibraatori tarbimisvõimsuse. Arvestades võimsust

$$p = f\frac{dx}{dt} \tag{355}$$

kus $f = F\sin\omega t$ on tsentrifugaaljõu F vertikaalkomponent, ja võrrandit (354), saame avaldise vibraatori tarbimisvõimsuse hetkväärtuse kohta:

$$p = F\sin\omega t \cdot b\omega\cos(\omega t - \varphi).$$

Keskmine võimsus ühe võnkeperioodi kohta

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T Fb\omega\sin\omega t\cos(\omega t - \varphi)\,dt =$$

$$= \frac{Fb\omega}{T}\left[\int_0^T \frac{1}{2}\sin 2\omega t\,dt + \int_0^T \sin^2\omega t\sin\varphi\,dt\right].$$

Nurksulgudes olev esimene integraal võrdub nulliga, teise väärtus on aga $\frac{1}{2}T\sin\varphi$.

Sellisel juhul

$$P = \frac{Fb\omega}{2}\sin\varphi. \tag{356}$$

Suuruste b ja $\sin\varphi$ väärtused valemis (356) sõltuvad tihendatava keskkonna füüsikalis-mehaanilistest omadustest, võnkesagedusest ja vibraatori parameetritest, suurused F ja ω aga sõltuvad ainult vibraatori parameetritest. Võnkeamplituudi võime leida avaldisega

$$b = k\frac{m_0\varepsilon}{m}, \tag{357}$$

kus m_0 on ekstsentriku mass;
ε — pöörleva keha ekstsentrilisus;
m — vibraatori mass;
k — tegur, mis sõltub silomassi elastsusest ja sitkusest.

Suuruste k ja $\sin\varphi$ katseliselt saadud väärtused tegelikus töös esineva sageduspiirkonna kohta on esitatud tabelis 16.

Võimsuse arvutamisel tuleb lähtuda vibraatori kõige raskematest talitlustingimustest, mistõttu aluseks võetakse $\sin\varphi$ ja teguri k maksimaalväärtused.

Tabel 16

Võnkesagedus Hz	6,67	8,33	10
Võngete arv minutis	400	500	600
k	1,5 ... 2,7	1,3 ... 1,9	1,2 ... 1,4
$\sin\varphi$	0,48 ... 0,8	0,3 ... 0,5	0,2 ... 0,35
$k_1 = (k\omega^3\sin\varphi)/2$	$8{,}3\cdot10^4$	$6{,}5\cdot10^4$	$6{,}2\cdot10^4$

Asetanud valemi (357) avaldisse (356) ja arvestades, et $F = m_0\varepsilon\omega^2$, saame:

$$P = k\omega^3 \sin\varphi \cdot \frac{(m_0\varepsilon)^2}{2m} = k_1 \frac{(m_0\varepsilon)^2}{m} \text{ W}, \tag{358}$$

kus

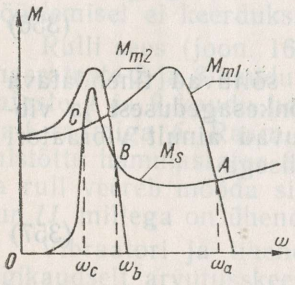
$$k_1 = \frac{k\omega^3 \sin\varphi}{2} \text{ W/(kg} \cdot \text{m}^2\text{)}.$$

Teguri k_1 arvutuslikud väärtused on esitatud tabelis 16. Teguri k_1 vähenemine sageduse suurenemisel on tingitud võnkeamplituudi vähenemisest.

Valemist (356) võime saada analoogilise avaldise ka vibraatori mehaanilise tunnusjoone kohta:

$$M = \frac{Fb}{2} \sin\varphi. \tag{359}$$

Resonantsi piirkonnas suureneb takistusmoment võnkeamplituudi ja nurga φ suurenemisel järsult. Momendi maksimaalväärtus sõltub silomassi füüsikalis-mehaanilistest omadustest. Selline koormustipp võib muuta mootori ülesjooksu võimatuks.



Joon. 166. Kaks võimalikku vibraatori ja mootori mehaanilise tunnusjoone vastastikust asetust

Joonisel 166 on kujutatud mootori ja vibraatori mehaanilise tunnusjoone kaks võimalikku vastastikust asetust. (Kõik momendid on taandatud vibraatori võllile.) Mootor *1*, millel on mehaaniline tunnusjoon M_{m1}, saavutab nurkkiiruse ω_a, mootor *2* aga, millel on mehaaniline tunnusjoon M_{m2}, saavutab nurkkiiruse ω_b. Hoolimata sellest, et esimene mootor on kaks korda suurema võimsusega kui teine, ei suuda ta anda vibraatorile nurkkiirust ω_a, teine mootor aga suudab anda vibraatorile nurkkiiruse ω_b.

Järelikult on kõige sobivam tunnusjoonte vahekord selline, mille puhul takistusmomendi tippväärtus ühtib mootori momendi maksimaalväärtusega. See tingimus on täidetud, kui mootori nurkkiirus maksimaalmomendi puhul, taandatuna vibraatori võllile, on võrdne vibraatori resonantskiirusega.

Uurimused tõendavad, et vibraatorist ja silomassist moodustuva süsteemi resonantssagedus on 4,6 ... 5,4 Hz (275 ... 325 võnget minutis). Nurkkiirusel 42,5 ... 62,8 rad/s (400 ... 600 p/min) ühtib momendi resonantstipp mootori momendi maksimaalväärtusega, mis võimaldab mootoril normaalset pöörlemissagedust saavutada. See sageduste piirkond on sobiv ka tihendamise kvaliteedi seisukohalt.

Vibrorulltambits, mis tagab võnkesageduse 7,8 Hz (475 võnget minutis) ja võnkeamplituudi 10 mm, tihendab silomassi tiheduseni 750 ... 800 kg/m³ (0,7 ... 0,8 t/m³). Tootlikkus on kuni 5,6 kg/s (20 t/h). Elektrienergia kulu on seejuures 252 ... 432 J/kg (0,07 ... 0,12 kWh/t).

Rulli käitab 1,7-kW asünkroonmootor. Edasiliikumise kiirus rulli töö ajal on 0,6 m/s.

Vibrorulltambitsa üldpikkus on 1200 mm, laius 940 mm, kõrgus 620 mm, mass 211 kg.

§ 4. Lehmalüpsi elektromehhaniseerimine

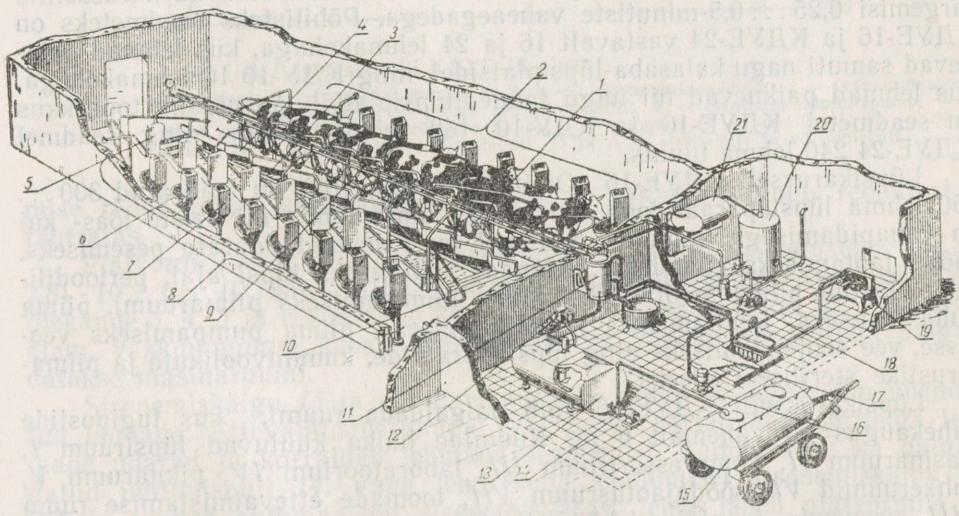
Masinlüps vabastab lüpsjad raskest käsitsitööst, suurendab nende tööviljakust rohkem kui 2 korda ja tagab udara täielikuma tühjakslüpsi.

Lehmade pidamise viisist ja hooajast, samuti lehmade arvust sõltuvalt kasutatakse mitmesuguseid lüpsiseadmeid.

Tänapäeval soovitatakse vähem kui 400-pealise karja puhul kalasaba-lüpsiplatsi, 400- ja enamapealise puhul peetakse majanduslikult õigustatuks kasutada lüpsikarusselli. Kolhoosides ja sovhoosides on aga kasutusel ka teistsuguseid seadmeid: lehviklüpsiplats, Krasnodari krais Urupski sovhoosi mehhaniseeritud kalasaba-lüpsiplats, tandemlüpsiplats, mis teatud olukorras õigustavad ennast.

Kalasaba-lüpsiplats on määratud lehmade lüpsmiseks nii lõas- kui ka vabapidamisel, samuti suvisel karjatamisel. Joonisel 167 on kujutatud nüüdisaegse paikse kalasaba-lüpsiplatsi ehitus koos piima esmastöötlemise liiniga. Kahel rühmalüpsiplatsil *2* ja *8* on 16 lehma. Lüpsiplatsid koosnevad piiravatest kilpidest *5* ja tugedest *4*, mis moodustavad piirde lehmakoha ümber, sisenemis- ja väljumisväravatest, mida avab lüpsja loomade sisse- ja väljalaskmiseks, ning jõusöödakünadest *6*. Et virts ja vesi ei satuks lüpsiplatsilt süvendisse, piirab lüpsiplatsi madal rinnatis. Lehmakoha pikkus on 2,1 ... 2,6 m, laius 500 mm. Lüpsiplatside piirded on süvendi kohal ühendatud põiktaladega, millele kinnitatakse torustikud ja kaheksa rangi nisakannudega *1*, kollektoritega ja kummist ühendusvoolikutega. Sellel lüpsiplatsil võib kasutada lüpsiaparaatide ДА-3М, «Volga» ja ДА-2 nisakanne ja kollektoreid.

Kaheksa lüpsiaparaatide komplekti võimaldab vaheldumisi lüpsta lehmi parem- ja vasakpoolsel rühmalüpsiplatsil.



Joon. 167. Kalasaba-lüpsiplats:
1 — nisakannud; *2* ja *8* — rühmalüpsiplatsid; *3* — süvend; *4* — piirdetugi; *5* — kilp; *6* — jõusöödaküna; *7* — söödajaotur; *9* — piimatoru; *10* — piimakurn; *11* — piimajahuti; *12* — pump; *13* — piimapaak; *14* — membraanpiimapump; *15* — autotsistern; *16* — jahutusveepump; *17* — jahutusveepaak; *18* — vaakuumpump; *19* — külmamasin; *20* — elektriveesoojendi; *21* — segustuspaak

Iga lehmakoha ees asuvasse künasse puistatakse enne lüpsmise algust jõusöödajaoturist *7* jõusööta.

Lüpsja töökoht asub süvendis, mis on kuni 0,7 m sügav. See hõlbustab lüpsja tööd, sest lehmade udarad asuvad tema käte kõrgusel. Lehmade asetus lühendab lüpsjate käike.

Nisakannudest juhitakse piim klaasist piimatoru *9* kaudu läbi riidest piimakurna, kus see puhastatakse mehaanilistest lisanditest, vaakuumpiimajahutisse *11*, mille tootlikkus on kuni 0,11 l/s (400 l/h).

Jahutist suunatakse piim pumbaga *12* säilitamiseks piimapaaki *13*, mille maht on 2000 l. Sealt pumbatakse piim hiljem piimapumbaga autotsisterni *15*. Jahutusvesi ringleb jahuti *11* ja jahutusveepaagi *17* vahel jahutusveepumba *16* toimel. Vaakuumpump *18* tekitab piimatorustikus vaakuumi 50,7 ... 53,3 kN/m² (38 ... 40 cm Hg), mille mõjul piim voolab lüpsiaparaatidest jahutisse.

Elektriveesoojendi *20* (5,4-kW ВЭТ-200 või 10-kW ВЭТ-400) ja segustuspaak *21* annavad loputustorustikku sooja vett udarate, samuti piimatorustiku ja lüpsiaparaatide pesemiseks eriliste pihustitega.

Töömasinaid käitatakse elektrimootoritega (vaakuumpumbal 2,8-kW, membraanpiimapumbal 0,6-kW, piimapaagi segistil 0,27-kW, külmamasinal 2,8-kW, jahutusveepumbal 0,6-kW elektrimootor). Lüpsiseadme juurde kuulub ka varuelektrijaam võimsusega 12 kW.

Lüpstud piima mõõtmiseks kasutatakse ujukiga piimamõõturit.

Seadet teenindavad lüpsja ja abitööline. Kuni ühel pool süvendit asuvaid lehmi lüpstakse, valmistab lüpsja teisel pool asuvaid lehmi lüpsiks ette: peseb udarad, annab jõusööta jne. Väljunud lehmade asemele laseb lüpsja abitöölise poolt platsile tulekuks korraldatud teise rühma lehmi sisse.

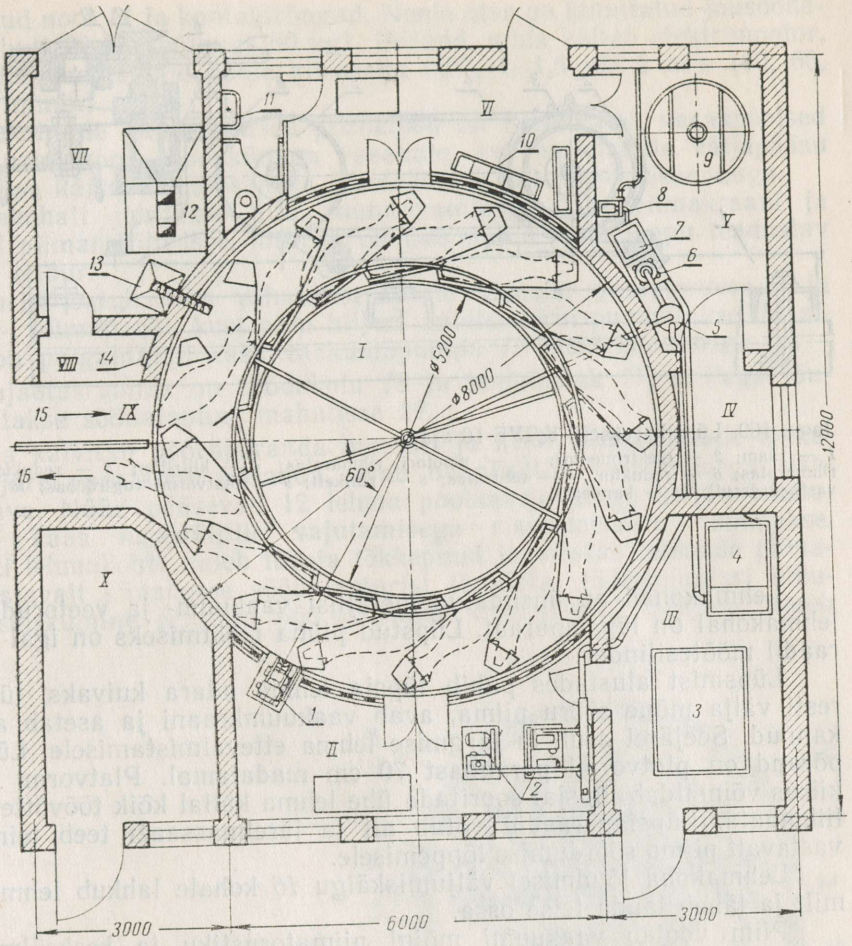
Kalasaba-lüpsiplats on tõhus, kui üheaegselt lüpstavad lehmad on ühesuguse piimaanni ja ühesuguse lüpsikestusega. Tootlikkus ulatub 60 ... 70 lehmani tunnis.

Lüpsikarussellid jaotatakse paikseteks ja teisaldatavateks. Nende iseärasuseks on lüpsi pidevus ja rütmilisus. Lehmad astuvad karussellile järgemisi 0,25 ... 0,5-minutiste vaheaegadega. Põhilisteks seadmeteks on КДУЕ-16 ja КДУЕ-24 vastavalt 16 ja 24 lehmakohaga, kus lehmad paiknevad samuti nagu kalasaba-lüpsiplatsidel, ning КДУ-10 16 lehmakohaga, kus lehmad paiknevad nii nagu tandemlüpsiplatsil. Arvutuslik tootlikkus on seadmetel КДУЕ-16 ja КДУ-10 160 lehma tunnis ning seadmel КДУЕ-24 240 lehma tunnis.

Lüpsikarussell КДУЕ-16 «Omitška» (joon. 168) on määratud 300 ... 450 lehma lüpsiaparaatidega lüpsmiseks lüpsiruumis nii veiste lõas- kui ka vabapidamisega lautades. Seadmel on vahendid udarate pesemiseks, sööda jaotamiseks künadesse, lehmade söötmiseks lüpsi ajal, perioodiliseks lüpstud piima mõõtmiseks, piima toimetamiseks piimaruumi, piima puhastamiseks, jahutamiseks ja säilitamiseks, piima pumpamiseks veokisse, vee soojendamiseks ning lüpsiaparaatide, kummivoolikute ja piimatorustike steriliseerimiseks.

Lüpsikarusselli КДУЕ-16 võib paigaldada ruumi, kus tugipostide vahekaugus on vähemalt 6 m. Ruumide hulka kuuluvad lüpsiruum *I*, masinaruum *II*, kompressoriruum *III*, laboratoorium *IV*, piimaruum *V*, puhkeruumid *VI*, söödajaotusruum *VII*, loomade ettevalmistamise ruum *VIII*, sisenemis- ja väljumiskäik *IX* ning katlaruum *X*.

Lüpsiruumi paigaldatakse viltuste lehmakohtadega rõngasplatvorm. Selle raam valmistatakse rööbastest ja nurkterasest 60 × 50 × 4. Raam kaetakse 4 ... 5 cm paksuse laudpõrandaga. Kaks alumist rööbast moodustavad veeretee ja toetuvad kaheksale rullipaarile *11* (joon. 169). Väli-



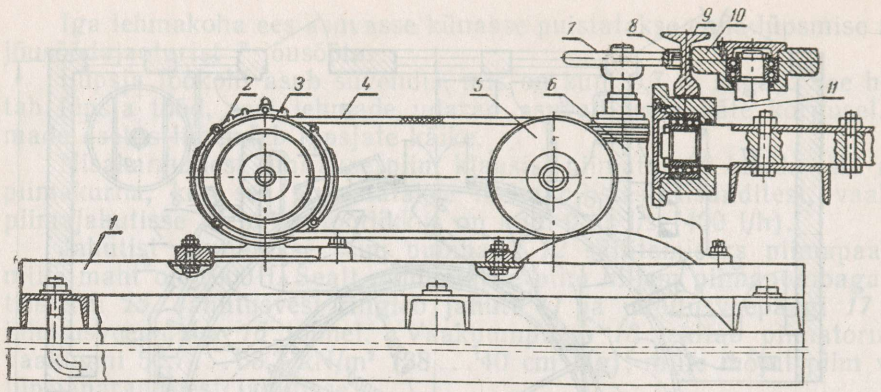
Joon. 168. Lüpsikaruselli КДУЕ-16 plaan:
1 — ajam; *2* — vaakuumpump; *3* ja *4* — külmendusseadmed; *5* — vaakuumjahuti; *6* — tühjenduspump; *7* — piima puhastusjahuti; *8* — tsentrifugaalpiimapump; *9* — 2000-l piimapaak; *10* — erirõivaste kapp; *11* — valamu; *12* — kopptõstuk; *13* — söödajaotur; *14* — nupplülititega juhtimispult; *15* ja *16* — sisenemis- ja väljumiskäik

mise rööpa külge kinnitatakse rullkett *8*, millega hambub reduktori *6* tähtratas.

Platvormi käitab 1,7-kW elektrimootor *2* pöörlemissagedusega (2,1 ... 2,8) · 10^{-3} p/s (0,125 ... 0,166 p/min) astmeliselt reguleeritava kiilrihmülekande *3*, *4*, *5* ja reduktori *6* kaudu, mille ülekandearv on 55. Platvormi ajam, vaakuumpump koos elektrimootori ja vaakuummeetritega paigaldatakse masinaruumi.

Sisenemiskäigu *15* ja väljumiskäigu *16* kaudu on lüpsiruum ühendatud laudaga. Ettevalmistusruumis *VIII* peseb karjak ämberpritsiga lehmade udarad ja korraldab lehmade sisenemist. Samasse on ka paigaldatud juhtimispult *14*. Vaba lehmakoha saabumisel sisenemiskäigu *15* kohale avaneb automaatselt sisenemisvärav, lehm läheb platvormile ja värav sulgub.

Samal ajal satub jõusöödaküna söödajaoturi *13* dosaatori alla, söödaküna kohal olev tõukur käitab dosaatori ning söödakünasse antakse 0,5 ... 2 kg jõusööta.



Joon. 169. Lüpsikarusselli КДУЕ-16 ajam:
1 — raam; *2* — elektrimootor; *3* — mootori rihmaratas; *4* — kiilrihm; *5* — reduktori rihmaratas; *6* — reduktor; *7* — tähtratas; *8* — rullkett; *9* — platvormi tugirõõbas; *10* — vastusurverull; *11* — kanderull

Lehmakohad on ühendatud metallist vaakuum- ja veetorudega. Igal lehmakohal on lüpsiaparaat. Lüpstud piima mõõtmiseks on igal lüpsiaparaadil mõõtesilinder.

Lüpsmist alustades pühib lüpsja lehma udara kuivaks, lüpsab kiiresti välja mõne sõõru piima, avab vaakuumkraani ja asetab alla nisakannud. Seejärel asub ta järgmise lehma ettevalmistamisele. Lüpsiruumi põrand on platvormi põrandast 70 cm madalamal. Platvormi liikumise kiirus võimaldab lüpsjal sooritada ühe lehma kallal kõik töövõtted paigalt liikumata. Lüpsiaparaadid võtab alt ja järelmassaaži teeb teine lüpsja vastavalt piima sõõrdumise lõppemisele.

Lehmakoha jõudmisel väljumiskäigu *16* kohale lahkub lehm platvormilt ja läheb lauda teise ossa.

Piim voolab vaakuumi mõjul piimatorustiku ja kesksõlme kaudu vaakuumjahutisse *5*. Sealt pumbatakse piim tühjenduspumbaga *6* puhastusjahutisse *7* ja suunatakse tsentrifugaalpiimapumbaga *8* piimapaaki *9*.

Farmi, kus on 800 või rohkem lehma, on otstarbekas paigaldada lüpsikarussell КДУЕ-24.

Lehviklüpsiplatsi (joon. 170) läbilaskevõime on kahe teenindava isiku korral 80 ... 100 lehma tunnis. Selle seadme iseärasuseks on, et lehmad asuvad liikumatutel lehmakohtadel, platvorm aga, millel asub lüpsja ja kus paikneb juhtimispult, pöörleb. Iga lehm on lüpsiplatsil ainult seni, kuni ta on täielikult lüpstud. Valgussignalisatsioon võimaldab lüpsjal lüpsi kulgu kontrollida.

Seade paigaldatakse poolümarasse ruumi, mille läbimõõt on 10 m ja üldpindala 117 m². Lüpsiruumi *I* pindala on 77 m², piimaruumil *II* 14 m², käigul *III* 10 m², söödajaotusruumil *IV* 9 m² ja masinaruumil *V* 7 m².

Lüpsiruumi keskel paikneb ümmarguse betoonsüvendi kohal puitkattega pöördpõrand, mille läbimõõt on 5 m ja mille ümber on 12 lehmakohta *8*. Pöördpõranda sees asetseb lüpsja töökoht *24*. Siin on reguleeritav iste *23* ja juhtimispult, millelt lüpsja juhib pöördpõranda ajami elektrimootorit *22*, söödajaoturit *9*, söödajaoturi dosaatorit *28*, kopptõstukit *17* ja elektriveesoojendit *2*. Oma töökohalt avab ja suleb lüpsja lüpsiruumi sisenemisväravat *15* ja väljumisväravat *16*.

Pöördpõranda keskel paikneb torukujuline sammas *12*, mille külge

on kinnitatud nool *11* ja kontaktrõngad. Noole otsa on kinnitatud jõusöödajaoturi mahuti *29* (mahutavus 60 kg). Põrand, mida käitab elektrimootor, võib pöörduda mõlemale poole kiirusega 0,67; 1, 1,5 või 2 m/s (40, 60, 90 või 120 m/min).

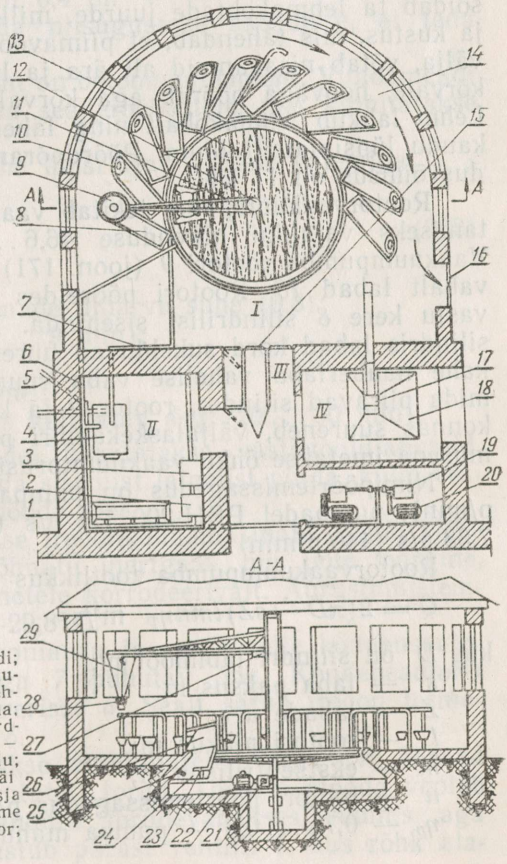
Lehmakohtade parempoolsed piirdetoed on liikumatud, vasakpoolsed aga pöörduvad koos söödakünaga vasakule, avades lehmale väljapääsu poolkaarjasse käiku *14*. Sissepääs lehmakohale suletakse tõkkepuuga.

Lehmakohalt juhitakse piim kummivoolikuga läbi piimakraani ja vahemuhvi piimamõõturisse, millega on ühendatud lüpsi lõppu teadustav elektriline andur.

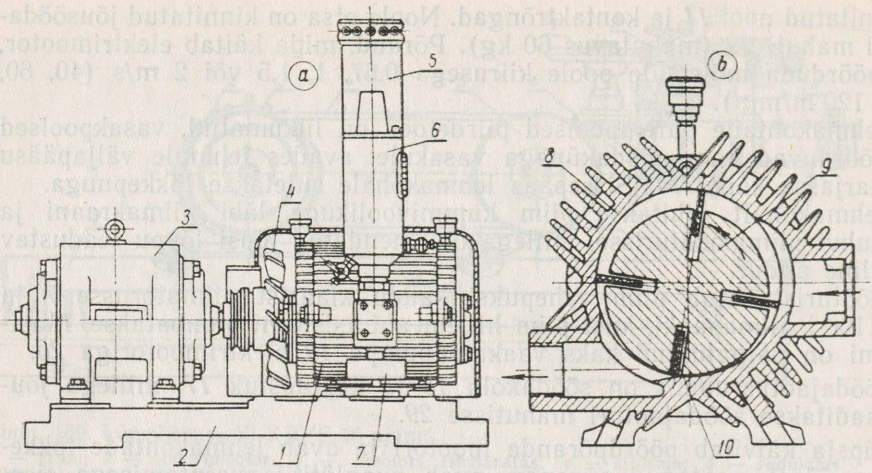
Mõõturist satub piim vahepuksi kaudu klaasist piimatorusse *7* ja sealt 1100-l piimapaaki, kust piim hiljem autotsisterni pumbatakse. Masinaruumi on paigaldatud kaks vaakuumpumpa *19* elektrimootoriga *20*.

Söödajaotusruumis on söödakolu *18* ja kopptõstuk *17*, millega jõusööt laaditakse söödajaoturi mahutisse *29*.

Lüpsja käivitab pöördpõranda mootori ja avab lehmakohtade tõkkepuud, seejärel, peatanud põranda, avab nupplülitile vajutamisega sisenemisvärava. Nüüd pääsevad 12 lehma poolkaarja käigu kaudu lehmakohtadele. Taas nupplülitile vajutamisega sisenemisvärav suletakse. Sõites piki lehmakohti, suleb lüpsja tõkkepuud ja puistab lehmade piimaannile vastavalt künadesse söödajaoturist jõusööta. (Söödajaoturi liikumine ja seiskumine ei sõltu pöördpõranda liikumisest.) Seejärel peseb



Joon. 170. Lehviklüpsiplatsi skeem:
1 — kahhelkividest vann; *2* — elektriveesoojendi; *3* — segustuspaak; *4* — piimapaak; *5* — piimavõtutoru; *6* — vaakuumtoru; *7* — piimatoru; *8* — lehmakohad; *9* — söödajaotur; *10* — söödaküna; *11* — nool; *12* — torukujuline sammas; *13* — pöördpõrand; *14* — käik; *15* — sisenemisvärav; *16* — väljumisvärav; *17* — kopptõstuk; *18* — söödakolu; *19* — vaakuumpump; *20* — elektrimootor; *21* — käigukast; *22* — elektrimootor; *23* — iste; *24* — lüpsja töökoht; *25* — juhtimishoovad; *26* — lüpsja istme kohal paiknev vari; *27* — solenoid; *28* — dosaator; *29* — jõusöödajaoturi mahuti



Joon. 171. Vaakuumagregaat PBH-40/350:
a — üldvaade; *b* — pumba lõige; *1* — pump; *2* — alus; *3* — elektrimootor; *4* — ventilaator; *5* — õlisadesti; *6* — õlipaak; *7* — vaakuumregulaator; *8* — kere; *9* — rootor; *10* — labad

lüpsja voolikust tuleva sooja veega lehmade udarad, kuivatab need, avab vaakuumtorustiku ja piimakraani ning asetab lehmadele nisakannud alla.

Lüpsja jälgib lüpsi puldil olevate signaallampide järgi. Kordamisi sõidab ta lehmakohtade juurde, mille signaallamp oli hakanud vilkuma ja kustus, mis tähendab, et piimavool on lõppenud, lülitab lüpsiaparaadi välja, võtab nisakannud alt ära ja lükkab need koos teleskoopvoolikuga kõrvale, hoovaga pöörab aga kõrvale lehmakoha vasakpoolse piirdetoe. Lehm lahkub lehmakohalt ning läheb käiku ja sealt väljumisvärava *16* kaudu lüpsiplatsilt lauta. Pöördpõrandal olevate elektriseadmete paigaldusvõimsus on 17 kW.

Rootorvaakuumpump tekitab vaakuumtorustikus lüpsiaparaatide töötamiseks vajaliku hõrenduse 46,6 ... 53,3 kN/m² (35 ... 40 cm Hg). Vaakuumpumba rootori *9* (joon. 171) neljas uurdes liiguvad radiaalsihis vabalt labad *10*. Rootori pööreldes surutakse labad tsentrifugaaljõuga vastu kere *8* silindrilist sisepinda. Rootori ekstsentrilise asetuse tõttu silindris labad kord sukelduvad uuretesse, kord väljuvad neist, mistõttu kahe naaberlaba vahelise vaba ruumi maht muutub. Seejuures ruum, mida piiravad silinder, rootor *9* ja kaks naaberlaba *10*, imikambri piirkonnas suureneb, väljalaskekambri piirkonnas aga väheneb. Selle tulemusena imetakse õhku vaakuumtorust välja.

Nimipöörlemissagedus on pumpadel PBH-40/350 ja 24,0 p/s (1440 p/min), pumpadel PBH-200 7,0 p/s (420 p/min) ja pumpadel PBH-100 7,33 p/s (440 p/min).

Rootorvaakuumpumba tootlikkus leitakse valemiga

$$Q = 2(\pi D - sZ)lmn\eta_p \text{ m}^3/\text{s}, \qquad (360)$$

kus D on silindri läbimõõt m;
s — laba paksus m;
Z — labade arv;
l — rootori pikkus m;
m — ekstsentrilisus m;
n — rootori pöörlemissagedus p/s;
η_p — 0,75 ... 0,8 — pumba mahukasutegur.

Rootorvaakuumpumba võimsus arvutatakse valemiga

$$P = \frac{QH}{\eta_a} \text{ W}, \qquad (361)$$

kus Q on pumba tootlikkus m^3/s;
H — pumba poolt tekitatav kogurõhk N/m^2;
η_a — elektrimootori ja pumba vahelise ülekande kasutegur.

Elektrimootori võimsus on vaakuumpumbal PBH-100 1,7 kW, vaakuumpumpadel PBH-200 ja PBH-40/350 2,8 kW.

Elektrimootor ja vaakuumpump paigaldatakse masinaruumi. Mootori ja pumba võib sidurdada kas lame- või kiilrihmülekandega või vahetult elastse siduriga. Masinaruumi paigaldatakse ka jaotuspunkt viie rühmaliini jaoks (3×60 A + 2×100 A), millel on sisendil torukaitsmed, kolmepooluseline vinnaklüliti ja vaakuumpumba mootori jaoks automaatlüliti. Mootori, automaatlüliti ja jaotuspunkti juurdeviik tehakse terastorusse paigaldatud juhtmest АПРТО.

Mootori ja jaotuspunkti kere, juhtmete metalltorud ja muud puuteulatusel olevad metallosad maandatakse. Vaakuumagregaadi jaoks vundamendi rajamisel või puidust alusraami paigaldamisel tuleb arvestada järgmisi nõudeid.

1. Agregaat tuleb paigutada masinaruumi ühe seina äärde, rihmarattad seina poole (rihmülekande puhul).
2. Rihmarataste keskmete vahekaugus peab olema 1,5 ... 2 m ja rihmarataste kaugus seinast vähemalt 0,4 m.
3. Elektrimootor tuleb paigutada niisugusesse asendisse, et teda oleks võimalikult mugav hooldada.

Kõige parem agregaadi vundament on betoonvundament. Vundamendi korral tuleb elektrimootor paigaldada seaderööbastele, mis kinnitatakse vundamendi külge eripoltidega.

Lüpsiseadme töötamiskestus t ühe lüpsi ajal leitakse valemiga

$$t = \frac{kt_0N}{m} + \Delta t \text{ min.}, \qquad (362)$$

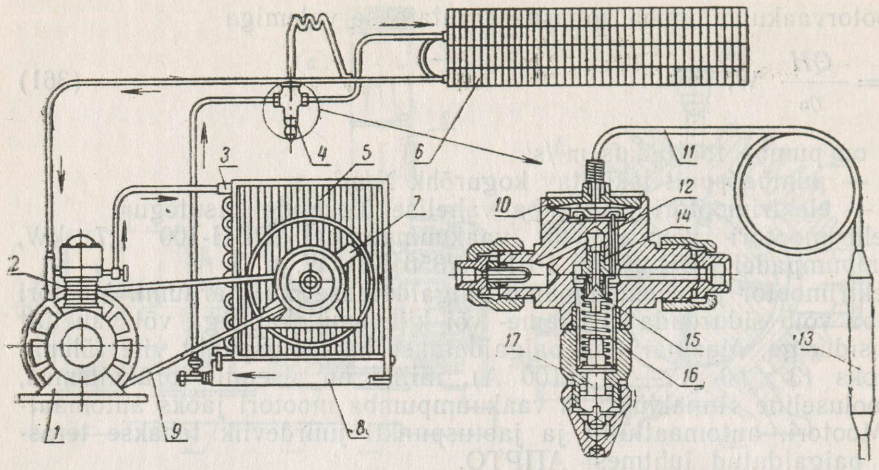
kus k on lüpsilehmade arvu ja lehmade üldarvu suhe (0,8);
t_0 — ühe lehma lüpsikestus (7 ... 9 min);
N — lehmade üldarv karjas;
m — lüpsiaparaatide arv seadmes;
Δt — lüpsiaparaatide pesemiseks kulutatav aeg (20 ... 30 min).

Piima jahutamiseks lüpsiplatsidel kasutatakse vastuvoolujahuteid, kus piim voolab õhukese kihina mööda sisemist lainelist pinda, külm vesi aga voolab sama seina teist külge mööda üles.

Külma vee saamiseks kasutatakse freoonkülmamasinaid (joon. 172). Freoon-12 on raske värvusetu ja lõhnatu inertgaas, mis pole mürgine, ei põle, ei plahvata ega mõju seadmetele korrodeerivalt. Aurustumistemperatuur normaalsel õhurõhul on —29,8° C.

Kolbkompressor *2* tihendab freooniauru ja surub selle kondensaatorisse *5*, mida jahutab ventilaatoriga *7* puhutav õhk. Kondensaatoris freooniaur veeldub ja voolab ressiiverisse *8*. Sealt satub freoon termoreguleerventiili *4* kaudu aurustisse *6*.

Külma vee saamiseks kasutatakse torujahuteid. Need on õõnsad silindrilised anumad, kuhu on paigutatud torud. Torusid mööda voolab vesi või soolalahus, silindrilise anuma torudevahelises ruumis aga freoon aurustub. Külmakandja aurustub pärast ventiili *4*, kus rõhk ala-



Joon. 172. Elekterkäitusega külmamasina skeem:
1 — elektrimootor; *2* — kolbkompressor; *3* — siugtoru; *4* — termoreguleerventiil; *5* — kondensaator; *6* — aurusti; *7* — ventilaator; *8* — ressiiver; *9* — kiilrihmülekanne; *10* — membraan; *11* — kapillaartoru; *12* — tõukur; *13* — termoreguleerventiili andur; *14* — kanal; *15* — nõelklapp; *16* — vedru; *17* — seadekruvi

neb. Aurustumiseks võtab freoon soojuse veelt või õhult. Jahutatud vesi surutakse tsentrifugaalpumbaga piima vastuvoolujahutisse.

Ventiil *4* reguleerib külmamasina talitlust automaatselt aurustist väljuva freooniauru temperatuurist sõltuvalt. Freooni temperatuuri tõustes auru rõhk termoreguleerventiili anduris tõuseb. Rõhk kandub kapillaartoru *11* membraani *10* ja tõukuri *12* kaudu üle nõelklapile *15*, mis avardab peene kanali *14* väljalaskeava. Seejärel freooniauru temperatuur alaneb.

Piima jahutamiseks vajaliku kunstliku külma saamiseks on soovitatav kasutada freoonkülmamasinat МХУ-8С, mille külmatootlikkus on 8,2 kJ/s (7065 kcal/h). See seade võib külma salvestamata jahutada 2 tunni jooksul 700 kg piima temperatuurilt +36° C temperatuurile +8°, külma eelneval salvestamisel aga 1700 kg piima 5 tunni jooksul. Seadme elektrimootorite võimsus on 5,1 kW. Seadme mass (juhtimiskilbita ja vedeliktäidiseta) on 690 kg.

§ 5. Piima esmastöötlemise elektromehhaniseerimine

Piima esmastöötlemine loomafarmides hõlmab piima koorimise ja pastöriseerimise ning või valmistamise.

Piima koorimine on koore mehaaniline eraldamine lõssist tsentrifugaaljõuga, mis mõjub piimale koorelahuti trumli pöörlemisel.

Toodetakse käsitsi käitatavaid koorelahuteid tootlikkusega 0,017, 0,028, 0,083, 0,17 l/s (60, 100, 300, 600 l/h) ja elekterkäitusega koorelahuteid, mille tootlikkus on 0,17, 0,28 l/s (600, 1000 l/h) ja rohkem. Koorelahutid tootlikkusega 0,17 l/s (600 l/h) on kombineeritud käitusega — käsitsi ja mehaaniliselt käitatavad. Koorelahutite andmed on esitatud tabelis 17.

Koorelahuti valitakse tootlikkuse järgi. Koorelahuti ülesjooks kestab 2...3 minutit. Selle aja lühendamine (näiteks kasutatakse võimsamat

Tabel 17

Iseloomustussuurus	Mark		
	Урал-60	COM-600	COM-3-1000
Tootlikkus l/s	0,17	0,17	0,28
l/h	600	600	1000
Ajam	Käsi- ja elektriajam	Käsi- ja elektriajam	Elektriajam
Pöörlemissagedus p/s (p/min)			
käsivändal	0,75 (45)	0,75 (45)	—
veovõllil	8,05 (483)	8,67 (520)	9,29 (556)
trumlil	120,5 (7245)	125,8 (7560)	135 (8100)
Trumli mass kg	10	8,72	16,3
Kogumass kg	120	83	120
Tarbimisvõimsus W	92	120	400

mootorit) kutsub esile suured mehaanilised jõud, mis võivad tiguajami purustada.

Mootori käivitumise hõlbustamiseks kasutatakse tsentrifugaalsidurit, tühikäigurihmaratast, pinguldusrulli, elektromagnetsidurit. Need seadmed võimaldavad mootori eelnevat ülesjooksu peaaegu tühikäigul ja alles seejärel antakse peale koormus. Koorelahutitel, mille tootlikkus on 0,28 l/s (1000 l/h), kasutatakse võllide vahetu sidurduse korral ka kahekiiruselist elektrimootorit. See võimaldab esialgset ülesjooksu kuni poole pöörlemissageduseni suurema käivitusmomendiga ja seejärel juba tavalise käivitusmomendiga täielikule nimipöörlemissagedusele.

Koorelahuti töötamisel peab trumli pöörlemissagedus jääma tingimata muutumatuks. Pöörlemissageduse vähenemine halvendab koore eraldumist, suurenemine aga põhjustab tiguülekande kiiret kulumist. Seepärast tuleb koorelahuti käitamiseks kasutada jäiga mehaanilise tunnusjoonega elektrimootorit. Sellele nõudele vastavad ühe- ja kolmefaasilised lühisrootoriga asünkroonmootorid.

Keskkonnatingimustest lähtudes on piimaruumides, mida iseloomustab suur õhuniiskus, kõige sobivam kasutada kinnisi, ülepuhutavaid, kolmefaasilisi elektrimootoreid.

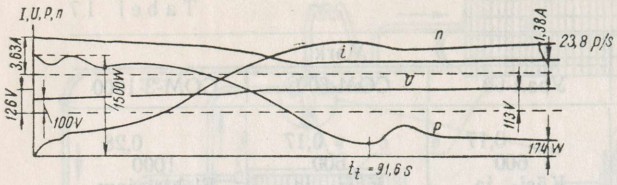
Koorelahutit käitava mootori valimisel tuleb pidada silmas järgmist: kolmefaasilistel lühisrootoriga mootoritel peab käivitusmomendi kordsus olema $\mu_k \geqslant 1{,}8 \ldots 2$, maksimaalmomendi kordsus $\mu_{max} \geqslant 2{,}2 \ldots 2{,}4$, minimaalmomendi kordsus $\mu_{min} \geqslant 1$; ühefaasilistel lühisrootoriga kondensaatormootoritel peab käivituskondensaatoriga olema $\mu_k \geqslant 2{,}5 \ldots 3$ ja töökondensaatoriga $\mu_{max} \geqslant 1{,}8$.

Koorelahuti elektriajamile on iseloomulikud kolm talitlusolukorda: 1) käivitusolukord, mil elektrimootori tarbimisvõimsus väheneb käivitusvõimsuselt tühijooksuvõimsusele; 2) koormuse pealevõtt, mil koormusmoment lühiajaliselt veidi kasvab, siis aga jälle väheneb; 3) püsiolukord jääval pöörlemissagedusel (joon. 173).

Koorelahuti mehaaniline tunnusjoon, arvestamata resonantstippu, on väljendatav järgmise avaldisega:

$$M_s = M_0 + bn^2, \tag{363}$$

kus M_0 on ajamivõlli algmoment (keskmiselt 0,196 Nm);
n — trumli pöörlemissagedus p/s;
b — võrdetegur, mis sõltub kinemaatilise ahela lülide töötlemistäpsusest ning koorelahuti trumli massist ja pinnakaredusest.



Joon. 173. Koorelahuti «Урал-6» elektriajami koormuskõverad

Koorelahutitel tootlikkusega 0,014 ... 0,28 l/s (50 ... 1000 l/h) $b = 70{,}6 \cdot 10^{-6}$ Nm/(p/s)^2 [$20 \cdot 10^{-10}$ kgf · m/(p/mm)^2].

Koorelahuti käivitamiseks vajaliku võimsuse P_{arv} võib arvutada valemiga

$$P_{arv} = hM_s 2\pi n \text{ W}, \tag{364}$$

kus h on kogemuslik tegur (1,2 ... 2), mis arvestab võimsust ja mis on vajalik trumlisse saabuvale vedelikule kineetilise energia andmiseks, samuti hüdrodünaamilise kao ning laagrite ja ülekande hõõrdekao katmiseks. Koorelahutil «Урал-6» $h = 1{,}2$.

Koorelahuti koormusmomendi M_s ruutsõltuvus pöörlemissagedusest kehtib trumli joonkiirusel 65 ... 70 m/s. See vastab trumli pöörlemissagedusele 116,7 ... 166,7 p/s (7000 ... 10 000 p/min).

Võid tehakse loomafarmides perioodilise talitlusega võimasinates, mille tünni mahutavus on 120 ... 1000 l. Need on kas käsitsi või mehaaniliselt elektrimootoriga käitatavad või kombineeritud käitusega.

Võimasin МИ-400 koosneb alusele kinnitatud laagritele toetuvast tappidega tünnist, mille mahutavus on 400 l, ja ajamist. Tünnil on koorega täitmiseks kaanetatav luuk ja petipiima väljalaskmiseks kraan. Tünnis on survevaltsid ja löögilaud.

Ajam koosneb töö- ja tühikäigu-rihmarattast (käsitsikäituse puhul ka vändast), kahest hammasülekandest — üks võilöömiseks ja teine võist peti väljasurumiseks — ning ümberlülitusmuhvist.

Tünn täidetakse 40% ulatuses koorega ja suletakse tihedalt kaanega. Ümberlülitusmuhv seatakse võilöömise asendisse (tünni pöörlemissagedus 0,67 p/s ehk 40 p/min) ja elektrimootor käivitatakse. Tünni pöörlemisel seguneb koor tugevasti, loksudes vastu löögilaudu ja survevaltse, ning läheb 35 ... 45 minutiga kokku. Seejärel mootor seisatakse, pett lastakse välja ja ümberlülitusmuhvi abil seatakse ajam võist peti väljasurumise asendisse. Mootor taaskäivitatakse ja tünn hakkab pöörlema pöörlemissagedusega 0,04 p/s (2,4 p/min). Koos tünniga pöörlevad survevaltsid pöörlemissagedusega 0,59 p/s (35,2 p/min), surudes võist välja viimase petijäägi. Peti väljasurumine kestab 20 minutit. Surumisel muutub võimsus pidevalt. Keskmine võimsus P_k moodustab 55% võimsusest surumise algul P_{alg}.

Suurtes lautades kasutatakse pideva talitlusega võimasinaid, mis on ette nähtud või tegemiseks värskelt lüpstud piima rõõsast koorest. Pideva talitlusega võimasin НДМ-400 koosneb võilööjast, töötlejast ja tsentrifugaalpumbast ning toodab tunnis 100 ... 200 kg võid. Võimasina käitamiseks kasutatavate elektrimootorite võimsus on 4,75 kW, veepumba käitamiseks 0,75 kW ja koorepumba käitamiseks 0,4 kW. Elektrienergia erikulu on (1,6 ... 1,7) · 10^4 J/kg (45 ... 48 kWh/t).

Piima pastöriseerimiseks loomafarmides kasutatakse täiustatud aurupastörisaatorit ОПД-1М piima kahepoolse kuumutamisega auru abil. Selle arvutuslik tootlikkus piima kuumutamisel temperatuurilt 35° C temperatuurile 85° C on 0,57 l/s (2000 l/h). Piima kuumutamine kestab ainult sekundi murdosa. Pastörisaatori trumlit käitab kiilrihmülekande kaudu püstvõlliga 1,7-kW äärikelektrimootor. Trumli pöörlemissageduse reguleerimiseks muudetakse astmeliselt ülekandearvu. Mootori talitlustingimused sõltuvad pastörisaatori kasutamise kestusest. Tavaliselt valitakse mootor kestvale talitlusele püsikoormusel töötamiseks.

§ 6. Elektromehhaniseeritud vedu loomafarmides

Igasugused veod, nagu sööda juurdevedu, sõnniku koristamine ja äravedu, allapanu kohalevedu, jää, kütuse ja piima vedu, nõuavad loomafarmides suurt töökulu. Need tööd moodustavad kõigist farmitöödest 30 ... 40%.

Loomafarmi veosevoolu leidmine. Veosevool m on veoste mass tonnides, mida on mingi ajaühiku (ööpäeva, aasta) kestel vaja teisaldada. Veosevoolu korrutis veokaugusega L määrab sooritatava kasuliku töö mahu ja moodustab veosekäibe:

$$V_n = \Sigma m_i L_i, \tag{365}$$

mida väljendatakse enamasti tonnkilomeetrites.

Selle nõutava veosekäibe ja töötingimuste järgi valitakse veovahendid, arvutatakse vajalik veokite arv ja koostatakse töögraafikud.

Veovahendite ööpäevane veosekäive $V_{vööp}$ arvutatakse valemiga

$$V_{vööp} = m_0 L T_t a k_s, \tag{366}$$

kus m_0 on veoki kandevõime t;
L — veokaugus km;
T_t — veoki töökestus h;
a — sõitude arv tunnis;
k_s — seisuaegade tegur.

Õigesti valitud veovahendite puhul peab nende ööpäevane veosekäive $V_{v\,ööp}$ olema võrdne või suurem loomafarmi nõutavast ööpäevasest veosekäibest $V_{n\,ööp}$: $V_{v\,ööp} \geqslant V_{n\,ööp}$.

Loomafarmi ööpäevase veosekäibe arvutamiseks on vaja järgmisi andmeid: karja suurus (ning selle jaotus liikide ja rühmade järgi); ööpäevane söödanorm lauda- ja karjatusperioodil; tootmis- ja majandushoonete plaan majandis; ööpäevane piima väljalüps, sõnniku väljavedu, jää, allapanu, kütuse jm. teisaldatavate veoste kulu.

Peale selle on vaja teada majandi lautades kehtivat päevakava, loomade paigutust eri hoonetes, silohoidlate ehitust ja paigutust, söödatsehhi tehnoloogiat ning söödavarude säilitamise viise. Samuti on vaja teada veoste lähte- ja sihtkohti, nende arvu ja veokaugusi. Veosekäive arvutatakse eraldi suvise karjatusperioodi ja talvise laudaperioodi kohta, veovahendite valik aga suurima nõutava veosekäibe järgi. Ligikaudne veosemaht on veistele 60 ... 80 kg ja sigadele 30 ... 40 kg looma kohta ööpäevas.

Veovahendite liigitelu. Kolhooside ja sovhooside veod jagunevad järgmisteks liikideks: majandivälised, majandisisesed ja farmi siseveod.

Majandiväline vedu toimub majandi keskuse ning põldude ja naabruses asuvate majanduskeskuste vahel (veoautodel, hobustega).

Majandisisene vedu on veoste teisaldamine keskuse või ainult loomafarmi maa-alal paiknevate tootmishoonete vahel.

See jaguneb rööbasteeta vedudeks (igasuguste käsikärudega, vankritel käsi- ja mehaanilise veojõuga, elektri- ja mootorkärudega) ja rööbastranspordiks (vankritega rippteedel ja maapealsetel rööbasteedel).

Farmi sisevedu on veoste teisaldamine loomapidamisruumides ja farmi abiehitistes (söödahoidlates, söödatsehhides, sõnnikuhoidlates, piimaruumides).

See võib toimuda lint-, kraap-, pneumo-, tigu- või plaattransportööridega, kopptõstukitega või materjali isevoolu teel.

Rööbastransport hõlmab maapealseid ühe- ja kaherööpalisi teid ja üherööpalisi rippteid.

Maapealseid rööbasteid kasutatakse loomafarmides laialdaselt. Neil on suur tootlikkus, ehituselt on nad lihtsad, nende algmaksumus on väiksem kui rippteedel, kaugete vedude ja suure veosekäibe puhul võib kasutada hobust.

Nende puudused on rippteega võrreldes järgmised: väljas on vaja rööbasteid pidevalt puhastada lumest, laudas aga sõnnikust ja söödast; vagonette on halvem laadida ja nad ummistavad juurdepääsuteid rohkem.

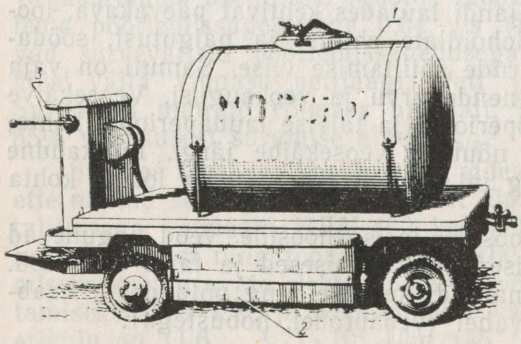
Maapealseid rööbasteid kasutatakse lõunapiirkondades.

Üherööpalisi rippteid kasutatakse suure tootlikkuse, töökindluse ja kasutamise lihtsuse tõttu laialdaselt. Rippteede amortisatsioonikestus on 8...12 a. Nad võimaldavad tõsta tööviljakust umbes 1,5 korda.

Enamasti lükatakse aga rippteede vagonette käsitsi. See raskendab nende kasutamist tunduvalt. Seepärast on teravalt päevakorral rippteede mehhaniseerimine ja automatiseerimine.

Rööbasteeta veovahendite valimisel antud majandi tingimustele vastavalt arvestatakse veosekäivet, veokaugust ja teede olukorda. Kui veoki töökestus on kuni 1,25 tundi päevas, mis moodustab kuni 50 päeva aastas, osutub akadeemik M. G. Jevreinovi andmetel kõige otstarbekamaks käsikäru. Kui töökestus on kuni 3 tundi päevas ehk 115 päeva aastas, on otstarbekas kasutada mootorkäru, töökestuse puhul üle 3 tunni päevas aga elektrikäru. Käsikärud on otstarbekad ja ökonoomsed ainult lühikestel vahemaadel, mootorkärud — pikematel. Halva tee korral on veokulud alati suuremad. Kõige tundlikumad on tee olukorra suhtes elektrikärud.

Elektrikäru on iseliikuv käru, mille kandevõime on 1,5 t. Käru käitab alalisvoolumootor, mida juhib eeslaudisel seisev tööline (joon. 174). Elektrimootor toitub akupatareist. See on kinnine ja paikneb platvormi all olevas kastis. Pöördemoment kantakse elektrimootorilt tagumistele veoratastele üle hammasratasreduktori või diferentsiaali kaudu.



Joon. 174. Piimaveoks määratud elektrikäru üldvaade:
1 — tsistern; *2* — akupatarei; *3* — juhtimishoovad

Mõnedel kärudel on kummagi veoratta jaoks eraldi mootor. Sellega elektrikäru kinemaatika lihtsustub. Esirattaid pööratakse käsihoovaga. Liikumise kiirust ja suunda muudetakse käru eesosas paikneva kontrolleri abil. Elektrikärul on elektriline ja mehaaniline pidur. Tal on hea manööverdamisvõime ja liikuvus väikestel platsidel ja veiselauda kitsastes käikudes. Müratu liikumine, suitsu ja heitgaasi puudumine aga on loomafarmides kasutamisel eriti väärtuslikud omadused. Elektrikäru sobib majanditele, kus ööpäevane veosekäive ületab 15...20 t. Elektrikärude kasutamist piirab heade teede puudumine ja akupatareide kõrge hind.

Akupatarei mahutavus on arvestatud mootori pidevaks töötamiseks 5 tunni vältel, millest tegelikult piisab farmi teenindamiseks tööpäeva kestel. Tööpäeva lõpul vahetatakse akupatarei laetud patarei vastu või pannakse laadima, ilma et teda kärult maha võetaks. Akupatarei vajaliku mahutavuse leidmisel lähtutakse energiast A, mis kulub tööpäeva kestel antud koguses veoste teisaldamiseks kaugusele L_i:

$$A = \frac{f(\Sigma m_v + m_k) L_i}{9{,}81 \eta_ü} \text{ J}, \qquad (367)$$

kus f on veerehõõrdetegur elektrikäru liikumisel mööda teed;
m_v — veose mass kg;
m_k — käru mass kg;
L_i — veokaugus m;
$\eta_ü$ — kasutegur energia ülekandmisel patareist kuni veoratasteni (0,6).

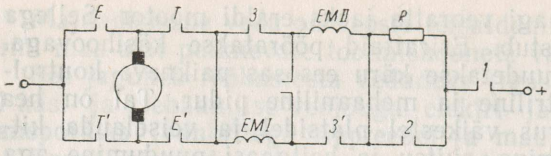
Jaganud A patarei pingega U_p, saame akupatarei mahutavuse kulonites, mis on vajalik elektrikäru töötamiseks vahetuse kestel. Nimitühjenemiskestus leitakse tegeliku tühjenemiskestuse järgi. Tavaliselt valitakse patarei nn. 6-tunnise mahutavuse põhjal. Elektrikäru akupatareide kasutegur on 60%, elektrimootoril 80%. Üldine elektrikäru kasutegur on umbes 50%. Elektrikärude kasutamine on võimalik elektrifitseeritud majandis, kus on olemas seadmed akude laadimiseks.

Elektrikäru ЭК-2 andmed on esitatud tabelis 18.

Kõik käivitamiseks, kiiruse muutmiseks, elektriliseks pidurdumiseks ja liikumissuuna muutmiseks vajalikud ümberlülitamised sooritatakse kontrolleriga, mis paikneb käru eesotsas katte all. Juhtimisseadmeteks on roolikang, kontrolleri käepide, jalgpiduri pedaal ja jalglüliti signaalkõlisti jaoks. Elektrikäru mootori juhtimislülitus on kujutatud joonisel 175.

Tabel 18

Kandevõime t	2	Elektrimootor:	
Välismõõtmed mm	2785 × 1140	võimsus kW	1,5
Rataste läbimõõt mm	400	pinge V	32
Pöörderaadius mm		vool A	44
välimine	3300	pöörlemissagedus p/s	30
sisemine	1320	p/min	1800
Käru mass koos akupatareiga kg	1500	Akupatarei mahutavus 5-tunnisel tühjenemisel kC	900
Liikumiskiirus m/s	1,4...2,8	A·h	250
km/h	5...10		



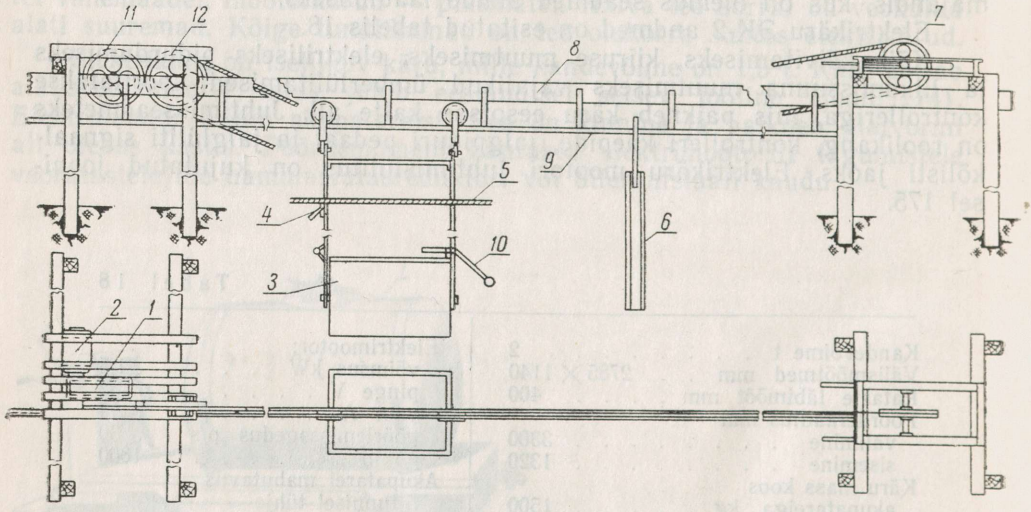
Joon. 175. Elektrikäru mootori juhtimislülituse skeem

Trossveoga ripptee (joon. 176) koosneb kandetarindi *8* külge kinnitatud rööpast *9*, vagonetist *3* lukustiga *4* trossi *5* külgehaakimiseks ja hoovaga riivist *10*. Veoseadeldis koosneb elektrimootorist *2*, mis on elastse siduri kaudu sidurdatud reduktoriga *1*, veorattast *11*, veetavast rattast *7* ja abirattast *12* trossi haardenurga suurendamiseks. Vintsi raam on valmistatud nurkterasest ja kinnitatakse lauda tuulekoja laetalade külge. Veetavat ratast saab pinguldusseadeldise abil nihutada juhtsooni mööda veorattast eemale.

Trossi veetav osa toetub iga 15 m tagant tugirullidele, vedav osa aga kinnitatakse lukustiga *4* käru külge. Alumise trossi suurim lõdve on 0,8 m. Trossi pinguldus peab 50-m ripptee puhul olema kuni 400 N, 100-m tee puhul aga kuni 1200 N. Ripptee olukorrast sõltuvalt on 300-kg koormaga vagoneti liigutamiseks vaja jõudu 200 ... 300 N.

Vagoneti soovitatav liikumiskiirus on 1,2 ... 1,4 m/s. Selleks on veoratta 400-mm läbimõõdu puhul vaja reduktori ülekandearvu $i = 20$, kui elektrimootori sünkroonpöörlemissagedus on 25 p/s (1500 p/min). Vintsi käitamiseks soovitatakse kasutada 0,6-kW elektrimootorit.

Vagoneti automaatseks kummutamiseks on tema veokast riputatud ekstsentriliselt ja kinnitatud riiviga *10*. Riivi lahtipäästmiseks soovitud tühjenduspaigas kinnitatakse rööpa külge tugi *6*. Kui riivi *10* hoob puutub vastu tuge *6*, siis riiv vabaneb ja vagonett läheb kummuli.



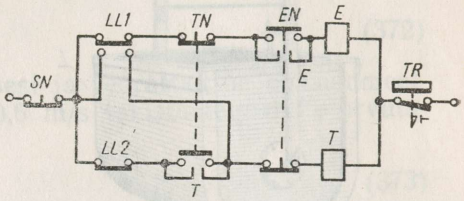
Joon. 176. Trossveoga ripptee:

1 — reduktor; *2* — elektrimootor; *3* — vagonett; *4* — lukusti; *5* — tross; *6* — tugi; *7* — veetav ratas; *8* — kandetarind; *9* — rööbas; *10* — riiv; *11* — veo ratas; *12* — abiratas

Elektrimootori juhtimiseks kasutatakse kaitstud ehitusega reversiivmagnetkäivitit. Kui elektrimootorit juhitakse käsitsi, paigutatakse juhtimisnupud tuulekotta hoone väljapääsu juurde. Sõnnikut koristav tööline lülitab pärast trossi ühendamist vagonetiga elektrimootori sisse ja jälgib vankri liikumist. Kui vagonett jõuab toe juurde, lülitab tööline mootori välja. Tugi päästab riivi *10* lahti ja koorem kallutatakse maha. Seejärel vajutab tööline tagasikäigunupule ja vagonett sõidab kummuliolekus tagasi.

Mootori tarbimisvõimsus on 0,6...0,7 kW, sellest tühikäigule 0,15 kW, reduktori ja trossi käitamiseks 0,3 kW ja 300-kg koormaga vagoneti liigutamiseks 0,25 kW. Elektrienergia kulu 1 t veose toimetamiseks 100 m kaugusele on umbes 0,36 MJ (0,1 kWh).

Käru automaatjuhtimiseks paigaldatakse laadimis- ja tühjenduspaika lõpplülitid *LL1* ja *LL2*, vagoneti külge aga kinnitatakse neid ümberlülitavad nukid (joon. 177). Kui vagonett on laaditud, vajutatakse edasi-



Joon. 177. Trossveoga ripptee mootori juhtimislülituse skeem

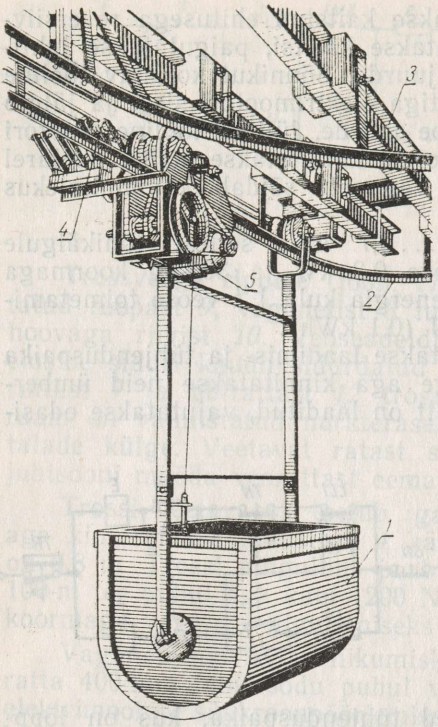
käigunupule *EN*. Vagonett liigub nüüd tühjenduspaika, kus on lõpplüliti *LL1* ja tugi *6* (joon. 176).

Kohtudes toega *6*, vagonett tühjendub, lõpplüliti *LL1* aga katkestab voolu mähises *E* ja lülitab sisse mähise *T*, millega elektrimootor reverseerub. Vagonett pöördub tagasi laadimispaika, tema küljes olev nukk surub lõpplülitile *LL2*, mis katkestab voolu mähises *T*, ja mootor seiskub.

Elektrivankerveoga ripptee. Moskva Põllumajandusinseneride Instituudi (МИИСП) aspirant G. S. Grigorjan konstrueeris 1953. a. elektrivankerveoga ripptee. Rööpal on veovanker, mida käitab kolmejuhtmetrollist toidetav kolmefaasiline asünkroonmootor võimsusega 0,6 kW ja pöörlemissagedusega 23,5 p/s (1410 p/min). Lühikese ripptee veovankri elektrimootorit võib toita ka trossile riputatud lükandkaabli kaudu. Veovankril (joon. 178) on kaks paari rulle — veorullid ja veetavad rullid. Veorulle käitatakse kaheastmelise kiilrihmülekandega, mille ülekandearv on 7,38. Vagonett on metallvarbadega riputatud veovankri ja veetavate rullide külge. Elektriveovankrit juhitakse käsitsi juhtimiskilbil paiknevate nupplülitite ja reversiivmagnetkäiviti abil.

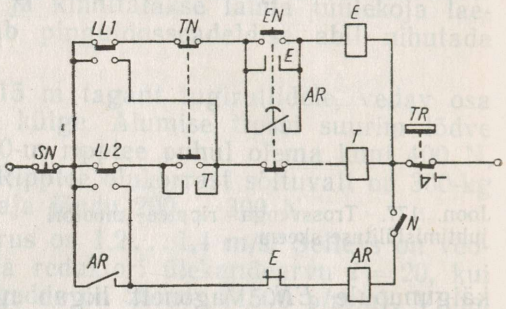
Automaatjuhtimiseks paigaldatakse laadimispaika lõpplüliti *LL1*, tühjenduspaika aga lõpplüliti *LL2* ja aegrelee (joon. 179). Pärast vagoneti laadimist vajutab tööline edasikäigunupule *EN*. Sellega lülitub sisse magnetkäiviti edasikäigukontaktor *E* ja elektrivanker liigub tühjenduspaika. Vagonett tühjendub ja surub oma nukiga lõpplülitile *LL1*, mis lülitab välja mähise *E* ja sisse tagasikäigukontaktori mähise *T*. Sellega mootor reverseerub ja vagonett sõidab laadimispaika tagasi, kus ta surub lõpplülitile *LL2*, mis lülitab kontaktori *T* välja. Mootor seiskub ja vagonett peatub.

Nüüd lülitatakse sisse aegrelee *AR*. Vagoneti laadimiseks kuluva ajavahemiku möödumisel aegrelee rakendub ja lülitab mootori koorma äravedamiseks sisse. Kui seda pole vaja, lülitatakse aegrelee lülitiga *N* välja.



Joon. 178. Nurkterasest ripptee, millel vagonett liigub elektrivankerveol:
1 — vagonett; *2* — rõõbas; *3* — kandetarind; *4* — vooluvõttur; *5* — elektrimootor

Joon. 179. Elektrivankerveoga ripptee mootori juhtimislülituse skeem



Selle elektrivankri puuduseks on asjaolu, et ta nõuab kolmefaasilist toidet, milleks on vaja kolme juhet.

Ühefaasilise toitega elektrivanker on selles mõttes eelistatavam. Et põllumajanduses kasutatakse maandatud nulljuhtmega kolmefaasilist süsteemi 380/220 V, siis saab ühefaasilist elektrivankrit toita pingega 220 V. Selleks ühendatakse faasijuhe trollijuhtmega, nulljuhe aga rööpaga, mis on ohutustehnika seisukohalt lubatav. Elektrivankri käitamiseks võib sel juhul kasutada kolmefaasilist asünkroonmootorit, mida toidetakse kui ühefaasilist. Veovankri juhtimisaparatuur, sealhulgas ka automaatne, paigaldatakse veovankrile, see aga raskendab veoki eemaltjuhtimist. Vooluvõtturi rulli surve terasest trollijuhtmele peab olema 5...7 N.

Talitlusolukorra mõttes töötavad veoseadmete mootorid enamasti kestval talitlusel. Mootori võimsus arvutatakse järgmise valemiga:

$$P_m = \frac{F_v v}{} \text{ W}, \tag{368}$$

kus P_m on veoki liikuma panemiseks vajalik võimsus;
F_v — veoki veotakistus N;
$\eta_ü$ — ülekande kasutegur, mis arvestab võimsuskadu mootori ja veoki vahelises ülekandes;
v — veoki liikumise kiirus m/s.

Veoki veotakistus leitakse üldjuhul kolme liidetava summana:

$$F_v = F_0 + F_k + F_t, \tag{369}$$

kus F_0 on põhitakistus sirgel rõhtsal teeosal N;

F_k — lisatakistus käänakutel N;
F_t — lisatakistus tõusudel N.

Põhitakistus sirgel rõhtsal teeosal, mis tekib veerehõõrdumise tõttu rataste ja rööpa kokkupuutepunktis, hõõrdumise tõttu rattapöia ääriku ja rööpa vahel, samuti hõõrdumise tõttu rattatelgedel, sõltub veorataste ja rööpa ehitusest. See leitakse valemiga

$$F_0 = f_0 G, \tag{370}$$

kus f_0 on takistustegur veoki liikumisel sirgel rõhtsal teeosal N/kN;
G — veoki kaal koos koormaga kN.

Kui ripptee on valmistatud eriprofiilterasest või nurkterasest ja kui vagoneti veorattad on sümmeetrilise ehitusega, võib G. S. Grigorjani andmeil arvutada f_0 kiirustel $v = 0 \ldots 0{,}6$ m/s järgmise valemiga:

$$f_0 = 17 - 6{,}3v, \tag{371}$$

kiirustel $v = 0{,}6 \ldots 2{,}6$ m/s aga

$$f_0 = 11{,}5 + 2{,}6v + 0{,}2v^2. \tag{372}$$

Kui ripptee on valmistatud lehtterasest ja veorattad on ebasümmeetrilise ehitusega, siis on kiirustel kuni 0,6 m/s takistusteguri f'_0 arvutamise valem järgmine:

$$f'_0 = 35 - 32v, \tag{373}$$

kiirustel 0,6 ... 2,6 m/s aga

$$f'_0 = 1{,}2 f_0. \tag{374}$$

Takistustegur paigaltnihkel on sümmeetriliste ratastega vagonettide puhul 17 N/kN, ebasümmeetriliste rataste puhul aga 35 N/kN.

Kitsarööpmelise raudtee puhul arvutatakse tegur f_0 valemiga

$$f_0 = 2{,}5 + 0{,}014v. \tag{375}$$

Majandisisestel vedudel, mil liikumiskiirused on väikesed ja teid küllalt hästi ei hooldata, kõigub f_0 väärtus piirides 5 ... 10 N/kN.

Rööbasteeta vedudel sõltub teguri f_0 väärtus mitte ainult liikumiskiirusest ja veorataste ehitusest, vaid ka tee iseloomust (tabel 19).

Mitmesugust liiki vintside põhitakistuse saame leida teisaldatava eseme liikumise skeemist lähtudes. Näiteks koorma tõstmisel töötava telferi vintsi põhitakistuse määrab koorma kaal, s. t. $F_0 = G_k$ N; mootori võimsuse määravad koorma kaal ja tõstekiirus.

Tabel 19

Tee liik ja olukord	f_0
Asfalt- ja betoonkattega	10 ... 12
Puitprussidest või laudadest kattega; jäätee	15 ... 20
Heas olukorras maantee	18 ... 20
Munakivisillutisega tee	20 ... 25
Porine maantee	15 ... 30
Lumetee	35 ... 40
Pinnastee	45 ... 80

Kui vints töötab koorma lohistamisel, määrab põhitakistuse koorma kaalu ja materjali või pakendi materjali takistustegur põranda suhtes. Metallkühvli libisemisel sõnnikukäigus on takistustegur 0,75 ja põhitakistus

$$F_0 = f_0 G_k = 0{,}75 G_k, \tag{376}$$

kus f_0 on takistustegur metallkühvli libisemisel mööda sõnnikut;
G_k — täidetud kühvli kaal N.

Lisatakistus käänakutel F_k tekib rattapöia ääriku hõõrdumisest rööpa vastu. See esineb nii kitsarööpmelise raudtee vagonettide jäiga telgedevahega ratastel kui ka rippteede vagonettide jäiga telgedevahega ratastel. Lisatakistuse F_k väärtus on seda suurem, mida suurem on vagoneti telgedevahe, mida suurem on liikumiskiirus ja mida väiksem on teeosa kõverusraadius. Käänakust tingitud lisatakistus F_k arvutatakse valemiga

$$F_k = f_k G, \tag{377}$$

kus f_k on käänakutest tingitud takistustegur N/kN.

Rippteede takistustegur 100-mm läbimõõduga sümmeetriliste rataste puhul leitakse avaldisega

$$f_k = \frac{25}{R}, \tag{378}$$

kus R on tee kõverusraadius m,
ebasümmeetriliste rataste puhul aga avaldisega

$$f_k = \frac{35}{R}. \tag{379}$$

Kitsarööpmeliste raudteede ja majandisiseste rööbasteede käänakutest tingitud lisatakistustegur arvutatakse avaldisega

$$f_k = \frac{250 + 5v}{R}. \tag{380}$$

Tõusudest tingitud lisatakistuse arvutamisel tuleb lähtuda kallakul teeosal vagonetile mõjuvast jõust

$$F_t = G_t = G \sin \alpha,$$

kus G_t on raskusjõu tangentsiaalkomponent kN;
α — tõusunurk.

Väikestel tõusudel $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = i$. Seega $F_t = Gi$, kus F_t ja G on avaldatud kilonjuutonites. Kui F_t väljendada N-tes, siis F_t [N] $= 1000\ Gi$ ja tõusust tingitud lisatakistustegur $f_t = F_t[\mathrm{N}]/G = 1000\, i$.

Kui kalle i väljendatakse murruna tuhandikes, siis $i = i'/1000$, kus i' on kalde väärtuses sisalduvate tuhandike arv. Saame, et $f_t = i'$, s. t. tõusust tingitud lisatakistustegur on arvuliselt võrdne tuhandike arvuga kalde murdväärtuses, mis tee ehitamisel on alati teada. Kui näiteks $i = 0{,}040$, siis $f_t = 40$.

Kaldest alla liikumisel mõjub F_t liikumise suunas ja osutub mitte takistavaks, vaid hoopis vedavaks jõuks. Niisugusel juhul peab F_t olema valemites miinusmärgiga.

Asünkroonmootori vajaliku võimsuse leidmisel võetakse arvutuste aluseks põhitakistus sirgel rõhtsal teeosal. Seejärel arvutatakse kontrolliks ka kõige suuremast tõusust tingitud lisatakistus F_t ja kõige järsemast käänakust tingitud lisatakistus F_k või mõlemad koos, kui käänak asub

tõusu kohal. Kui mootor töötab tõusval teeosal pidevalt, valitakse ta summa $F_0 + F_t$ alusel ja kontrollitakse ülekoormusele, kusjuures lähtutakse kõige suuremast F_k väärtusest.

Kogemused tõendavad, et sümmeetriliste ratastega vagonett tagab koormuse parema jaotumise veoratastele ja nõuab ajamile väiksema võimsusega mootorit.

Veovahendi liikumise kiirus valitakse sõltuvalt veotööde tingimustest: 1 m/s, kui vagonetti saadab tööline, ja 1,5 m/s, kui vagonetti juhitakse poolautomaatselt.

Valitud mootorit kontrollitakse ka ülesjooksu mõttes. Selle tagamiseks peab käivitusmoment olema veoki vajalikust paigaltnihkemomendist 20...25% suurem.

Elektrivankrit on tingimata vaja kontrollida ka rataste läbilibisemise mõttes. Terasrataste korral algab liiva tarvitamata läbilibisemine siis, kui veojõud on umbes 25% elektrivankri nakkekaalust. Seepärast peab olema täidetud nõue

$$F_l = 0{,}25 G_{ev} \cos \alpha > F_{max}, \tag{381}$$

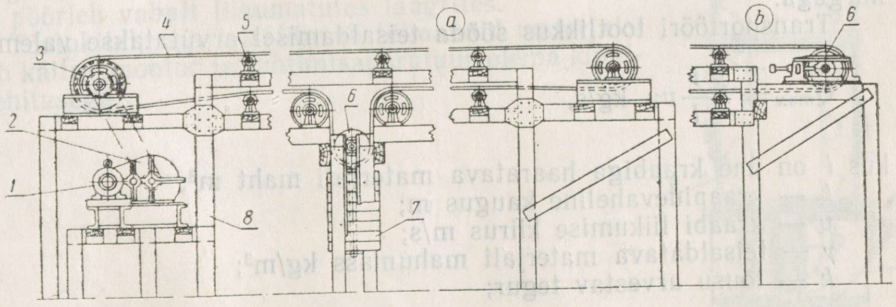
kus F_l on veojõud, mille ületamisel algab rataste läbilibisemine N;
G_{ev} — elektrivankri nakkekaal, s. o. veoratastele mõjuv kaal N;
α — tee tõusunurk;
F_{max} = elektrivankri maksimaalne veojõud N.

Linttransportööre kasutatakse teravilja teisaldamiseks rõht- või kaldsihis: rukist, nisu, kaera ja otra kuni 20°, herneid ja maisi kuni 12°, jahu ja kliisid kuni 24°, juurvilja kuni 22°, silo jt. söötasid ning puistematerjale ja tükikaupu kuni 20° tõusunurgaga.

Linttransportöör (joon. 180) koosneb ajamist, teisaldussealdisest, pinguldusseadeldisest ja tugiraamist. Esimese moodustavad elektrimootor *1*, reduktor *2* ja veotrummel *3*, teise — ringlint *4* ja tugirullid *5*, kolmanda aga pinguldustrummel *6* ja tõmmits *7*. Linttransportööri tugiraam *8* võib olla puidust või terasest. Lint valmistatakse kummeeritud või linasest kangast tõmbetugevusega 22...44 MN/m².

Veotrumli käitamiseks kasutatakse järgmisi ülekandeseadeldisi: vaheajamiga rihmülekannet; kiilrihmülekannet; hammasratasülekannet vaheajamilt, mille elektrimootor paneb pöörlema rihmülekande kaudu, või reduktorit. Ülekande liigi määravad ülekandearv ja paigaldustingimused.

Transportööri tootlikkus Q kg/s sõltub lindil oleva materjali kihi rist-



Joon. 180. Linttransportöör:
a — automaatse vahepinguldusega; *b* — otsmise käsitsipinguldamisega; *1* — elektrimootor; *2* — reduktor; *3* — veotrummel; *4* — ringlint; *5* — tugirullid; *6* — pinguldustrummel; *7* — tõmmits; *8* — tugiraam

lõikest F m², lindi liikumise kiirusest v m/s ja materjali mahumassist γ kg/m³:

$$Q = \gamma v F \text{ kg/s}. \tag{382}$$

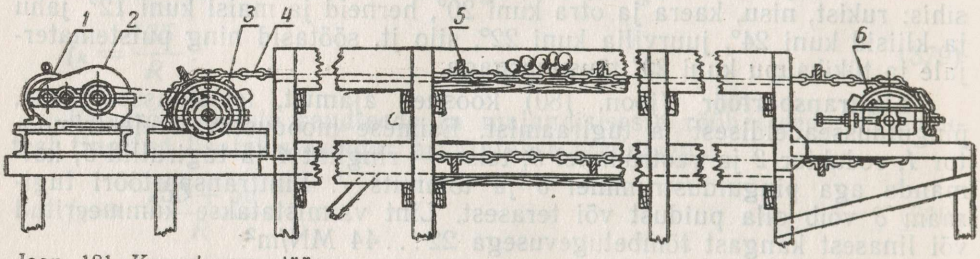
Lindi liikumise kiirus sõltub teisaldatavast materjalist: nisu, rukki ja maisi puhul 3...4, kaera, odra ja päevalilleseemnete puhul 2...3, peenestatud teravilja puhul 1,2...1,5, jahu puhul 1...1,3, kliide puhul 1,5...2, juurvilja puhul 0,3...0,4 m/s. Kuni 0,5 m laiuse lindi korral ei tohi lindi kiirus ületada 2,5 m/s.

Linttransportööri tarbimisvõimsus määratakse valemiga

$$P = \frac{1}{\eta}\{9{,}81QH + 30(1{,}3 + k)\sqrt{3{,}6Q} + \sqrt[3]{3{,}6QL}\} \text{ W}, \tag{383}$$

kus H on materjali tõstekõrgus m;
k — pöördtrumlite arv, v. a. veotrummel;
L — transportööri pikkus m;
η — ülekannete kasutegur.

Kraaptransportööre (joon. 181) kasutatakse juurvilja ja puistematerjalide teisaldamiseks. Teisaldatavat materjali nihutatakse mööda renni kraapidega, mis on kinnitatud kas ühe või kahe ringketi külge. Ringketi



Joon. 181. Kraaptransportöör:
1 — elektrimootor; *2* — reduktor; *3* — veotähtratas; *4* — kett; *5* — kraap; *6* — veetav tähtratas

liikumise kiirus on 0,4...1 m/s. Põllumajanduses on levinud ühe ketiga transportöörid, mille terasest või valumalmist kraabid liiguvad terasplekiga kaetud puitrennis. Kraaptransportöörid töötavad kuni 30° tõusunurgaga.

Transportööri tootlikkus sööda teisaldamisel arvutatakse valemiga

$$Q_{max} = k\frac{i}{l}v\gamma \text{ kg/s}, \tag{384}$$

kus i on ühe kraabiga haaratava materjali maht m³;
l — kraapidevaheline kaugus m;
v — kraabi liikumise kiirus m/s;
γ — teisaldatava materjali mahumass kg/m³;
k — tõusu arvestav tegur;

$$k = \frac{100 - 1{,}75\alpha}{100}. \tag{385}$$

Materjali ebaühtlase jaotuse tõttu transportööril on tegelik tootlikkus

$$Q_{teg} = (0{,}7 \ldots 0{,}8)\, Q_{max}. \tag{386}$$

Kraaptransportööri tarbimisvõimsus arvutatakse valemiga

$$P = \frac{k}{\eta_{ü}} (9{,}81 Q_{teg} H + 9{,}81 Q_{teg} f_m L \cos\alpha + G_k f_k v \cos\alpha) \text{ W}, \tag{387}$$

kus G_k on transportööri keti kaal N;
Q_{teg} — transportööri tegelik tootlikkus kg/s;
f_k — keti hõõrdetegur (0,25 ... 0,3);
L — transportööri pikkus m;
f_m — materjali hõõrdetegur;
H — materjali tõstekõrgus m;
k — tegur, mis arvestab tähtrataste takistust ja muid arvestamata takistusi (1,1 ... 1,2);
α — tõusunurk;
$\eta_{ü}$ — ülekande kasutegur.

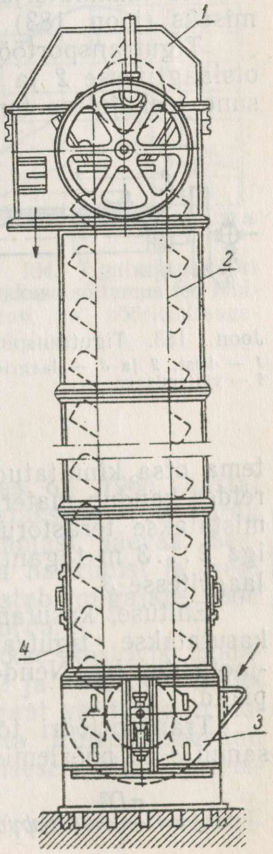
Kopptõstukid on määratud puistematerjalide tõstmiseks püstloodis või peaaegu püstloodis. Kopptõstukil (joon. 182) on järgmised põhisõlmed: tõstuki pea *1*, koppadega *2* ringlint või ringkett, tõstuki jalg *3*, kest *4* koos toestustarindiga. Tõstuki peas on veotrummel lindi jaoks või veotähtratas keti jaoks ja ajam. Trumli pöörlemissagedus on 0,5 ... 1 p/s (30 ... 60 p/min), kui kopad on kinnitatud lindile, tähtrattal poole väiksem, kui kopad on kinnitatud ketile. Trumlit käitab elektrimootor lahtise hammas- või lamerihmülekande või kinnise reduktori ja kiilrihmülekande kaudu.

Kuivades kõetavates ruumides teri, jahu, mitmesuguseid jahvatussaadusi ja muid puistematerjale teisaldavatel kopptõstukitel on puuvillane, nahast või kaamelikarvadest lint. Tõstukitel, mis töötavad niisketes ruumides, osutub otstarbekamaks kummist lint või immutatud lint või ka kett.

Tõstuki kopad valmistatakse terasplekist või valumalmist.

Tõstuki jalas paikneb alumine pinguldustrummel koos pinguldusseadeldise ja sööteseadeldisega. Ketiga tõstukitel kinnitatakse veotähtratas võllile, mis pöörleb vabalt liikumatutes laagrites.

Tõstukitel, mis teisaldavad tolmavaid materjale, peab käitav mootor ja juhtimisaparatuur olema kinnise ehitusega.



Joon. 182. Kopptõstuk:
1 — pea; *2* — kopp; *3* — jalg; *4* — kest

Kopptõstuki tootlikkus arvutatakse valemiga

$$Q = \varphi \frac{i}{l} v\gamma \text{ kg/s}, \tag{388}$$

kus φ on kopa täitumistegur, mis on teravilja puhul 0,75 ... 0,90 ja jahvatussaaduste puhul 0,33; kaldu asetsevatel tõstukitel on täitumistegur 10 ... 20% suurem;
i — ühe kopa maht m³;
l — koppadevaheline kaugus m;
v — koppade liikumise kiirus m/s (teravilja puhul 2 ... 4, jahu puhul 1 ... 1,5, juurvilja puhul 0,3 ... 0,5);
γ — teisaldatava materjali mahumass kg/m³.

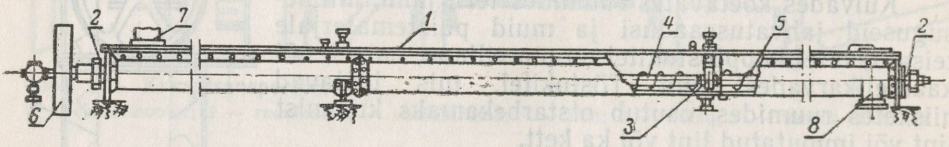
Kopptõstuki käitamiseks kasutatava elektrimootori vajalik võimsus arvutatakse valemiga

$$P = \frac{9{,}81QH}{\eta_t \eta_ü} \text{ W}, \tag{389}$$

kus H on materjali tõstekõrgus m;
η_t — tõstuki kasutegur; püstasendis on see 0,5 ... 0,7, kaldasendis 0,3 ... 0,4;
$\eta_ü$ — ülekande kasutegur.

Tigutransportööre kasutatakse puistematerjalide ja ka väikesemõõtmeliste tükkmaterjalide rõht- või kaldsihis ja isegi püstloodis teisaldamiseks (joon. 183).

Tigutransportöör koosneb järgmistest põhiosadest: võll *4*, mis toetub otslaagritesse *2* ja vahelaagritesse *3*, võllile keevitatud 2 ... 5 mm paksune teokujuline teraslint *5*, mis pöörleb kestas *1*. Võlli käitamiseks on



Joon. 183. Tigutransportöör:
1 — kest; *2* ja *3* — laagrid; *4* — võll; *5* — teokujuline lint; *6* — rihmaratas; *7* — sööteava; *8* — väljamisava

tema otsa kinnitatud lame- või kiilrihma jaoks rihmaratas *6*. Võlli pööreldes kandub materjal sööteava *7* juurest väljamisavani *8*. Tiguvõll valmistatakse terastorust. Vahelaagrite paigaldamiseks lõigatakse toruvõll iga 2 ... 3 m tagant katki ja liidetakse tappide abil, millega võll toetub laagritesse *3*.

Ehituse, kasutamise lihtsuse, suure tootlikkuse ja töökindluse tõttu kasutatakse tigutransportööre laialdaselt söödatsehhides, -hoidlates, -jaoturites jm. Nende läbimõõt on 100 ... 600 mm ja nad on kuni 30 m pikad.

Transportööri tootlikkuse Q määravad teo läbimõõt D m, keerme samm s m, pöörlemissagedus n p/s ja kaldenurk α:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} snk_v \psi\gamma c \text{ kg/s}, \tag{390}$$

kus k_v on tegur, mis arvestab materjali telgkiiruse v_m erinevust teo telgkiirusest v_t (v_m/v_t); rõhtsas tigutransportööris teravilja teisaldamisel, mille niiskus on 14...15% ja hõõrdetegur 0,35...0,40, $k_v = 0{,}57 \ldots 0{,}6$;

φ — teo täitmistegur $(1 - 0{,}06\,An)$. A on siin võrdetegur:

$D = 0{,}1$ puhul $A = 0{,}40$,
$D = 0{,}125$ „ $A = 0{,}50$,
$D = 0{,}15$ „ $A = 0{,}58$;

γ — materjali mahumass kg/m³;

c — teo kaldenurka arvestav tegur; tigutransportööril, mille tootlikkus on 14...17 kg/s (50...60 t/h):

teo kaldenurk $\alpha°$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
tegur c	0,89	0,79	0,70	0,63	0,56	0,50	0,45	0,40	0,36

Arvestades täitumisteguri sõltuvust, leiame tigutransportööri tootlikkuse valemiga

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} snk_v(1 - 0{,}06An)\gamma c \text{ kg/s}. \qquad (391)$$

Joonisel 184 on esitatud tigutransportööri tootlikkuse sõltumus teo läbimõõdust ja pöörlemissagedusest.

Tigutransportööri käitava mootori vajalik võimsus arvutatakse valemiga

$$P = \frac{1{,}1Q(pL + H)}{\eta_ü} \text{ W}, \qquad (392)$$

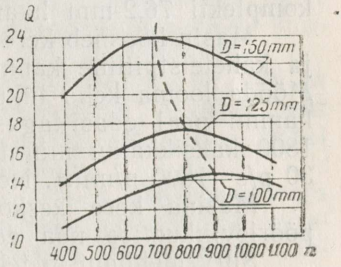
kus 1,1 on tegur, mis arvestab lisatakistust materjali tõukamisel läbi vahelaagrite tugede;

p — eritöö, mis kulub 1 kg materjali nihutamiseks 1 m kaugusele (teravilja kohta 1,85);

L — transportööri pikkus m;

H — materjali tõstekõrgus m;

$\eta_ü$ — ajami kasutegur.



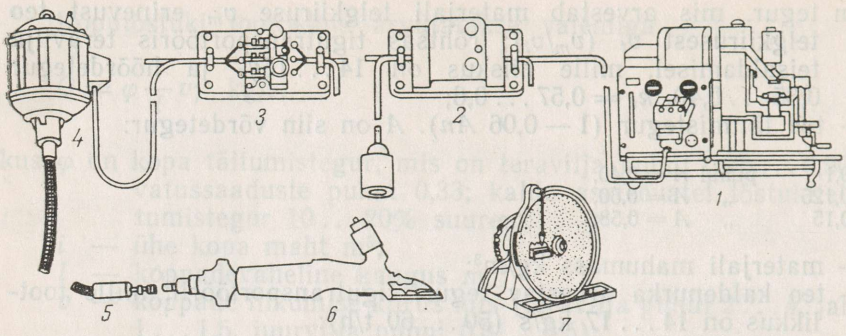
Joon. 184. Tigutransportööri tootlikkuse sõltumus teo läbimõõdust ja pöörlemissagedusest

§ 7. Lammaste elekterpügi

Lammaste pügamine kolhoosides ja sovhoosides oli 1965. aastal mehhaniseeritud 95...97% ulatuses. Lambaid pügatakse 1...2 korda aastas. Käsitsi pügab pügaja maksimaalselt 25 lammast päevas. Seejuures on vill ebaühtlaselt lõigatud ning esineb villa hakkimist ja isegi nahavigastusi. Pügamismasinate kasutamine hõlbustab pügajate tööd tunduvalt ja tõstab tööviljakust 3...4 ja rohkem korda.

Lammaste mehhaniseeritud pügamiseks kasutatakse Rostovis toodetavaid elektripügiagregaate ЭСА-36, ЭСА-16, ЭСА-12 ja ЭСА-6, millel on vastavalt 36, 16, 12 või 6 pügamismasinat. Agregaat valitakse arvestusega 500...835 lammast ühe pügamismasina kohta. Elektrifitseeritud ruumides võib kasutada elektrimootoriga varustatud iseseisvaid pügamismasinaid.

Elektripügiagregaat koosneb elektrijaamast, teisaldatavast elektri-



Joon. 185. Elektriprügiagregaadi ЭСА-12 põhisõlmed:
1 — elektrijaam; *2* — valgustuse nupplüliti; *3* — elektrimootori nupplüliti; *4* — elektrimootor; *5* — paindvõlli otsik; *6* — pügamismasin; *7* — erituskäi

juhtmestikust, pügamismasinatest koos elektrimootori ja paindvõlliga, erituskäiadest ja maandusseadeldisest (joon. 185).

Kuni 2000-pealise lambakarjaga majandites kasutatakse mehaanilisi agregaate МАП-4. Selle agregaadi komplekti kuuluvad bensiinimootor, raam, neli paindvõlli kaudu käitatavat pügamismasinat ja üks erituskäi. Pügamismasinate paindvõlle käitatakse transmissiooni vaheajamiga.

Pügamismasinad ja nende ajam. Tavaliselt kuuluvad pügiagregaatide komplekti 76,2-mm haardelaiusega pügamismasinad МСО-77.

Masin koosneb kerest, lõikeaparaadist, millel on neljahambaline nuga ja kaheteistpiiline kamm, ekstsentrikust, surve- ja liigendmehhanismist. Mööda looma keha liikudes kammivad piid villa ja hoiavad seda kinni, kammi peal edasi-tagasi-liikuv nuga lõikab aga villa ära. Nuga teeb 1800 kaksikkäiku minutis, mis vastab ekstsentriku pöörlemissagedusele 30 p/s (1800 p/min). Noa käik on 26 mm.

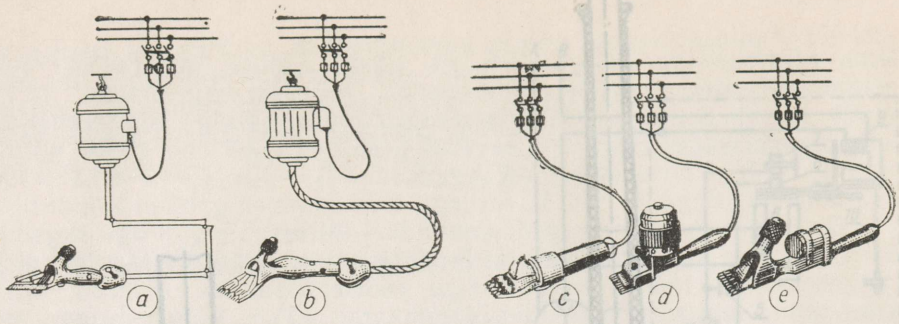
Masina kere keskosas paiknev ekstsentrik muudab käitava võlli pöörlevliikumise noa edasi-tagasi-liikumiseks.

Survemehhanism tekitab noale villa lõikamiseks vajaliku surve vastu kammi ja tagab noale võnkliikumise ülekandumise survekäppade haarade kaudu.

Liigendmehhanism parendab jõu ülekandumist paindvõllilt ja hõlbustab masina juhtimist. Liigendmehhanismi väliskestas paikneb paindvõlli südamikuga ühendatud ülekandevõll, sisekestas aga ekstsentriku võll. Võlli otstes olevad hammasrattad on villa sissesattumise vältimiseks kaetud nahkümbristega.

Pügamismasinat võib käitada elektrimootoriga paind- või liigendvõlli kaudu või ka käepidemes paikneva sisseehitatud elektrimootoriga (joon. 186). Paindvõlliga ajam on mugavam kui liigendvõlliga ajam, sest ta tagab masinale suurema liikumisvabaduse ja segab töötamisel vähem. Paindvõll, mille pikkus on 2 m, koosneb südamikust, soomuskõrist ja kahest otsikust. Paindvõlli pöörlemissagedus on 46,6 p/s (2800 p/min).

Pügamismasinate käitamiseks paindvõllide kaudu kasutatakse konksu otsa riputatud suure käivitusmomendiga kolmefaasilisi lühisrootoriga asünkroonmootoreid. Mootori käivitusmomendi kordsus peab olema vähemalt 1,8. Seda tingib surnud punktide esinemine noa võnkliikumisel. Paindvõlli läbimõõt on 10 mm, soomuskõri läbimõõt 20,5 mm. On kasutusel riputatavad mootorid ТС-2, ТС-2У ja ПАД-1/2 pingele 220/380 V, mille võimsus on 0,125 kW, pöörlemissagedus 46,6 p/s (2800 p/min), kasutegur 0,65 . . . 0,78, käivitusvoolu kordsus $I_k/I_n = 3{,}7$, käivitusmomendi



Joon. 186. Pügamismasinate elektriajam:
a — liigendvõlliga; *b* — paindvõlliga; *c* — käepidemesse sisseehitatud elektrimootoriga; *d* — külgeehitatud püstelektrimootoriga; *e* — käepidemele külgeehitatud rööbitise elektrimootoriga

kordsus $M_k/M_n = 2{,}5$, maksimaalmomendi kordsus $M_{max}/M_n = 2{,}1$. Mootori ПАД-1/2 mass on 6 kg.

Mootori võimsusest kulub villa lõikamisele 20 ... 35 W, pügamismasina tühikäigule 30 ... 50 W, momendi ülekandmiseks paindvõlli kaudu mootorilt pügamismasinale 35 ... 50 W.

Paindvõlliga ajami puudusteks on suur kuluvus ja masina kerele mõjuv reaktiivjõud, mis tekitab pügaja käele lisakoormuse.

Käepidemes paikneva elektrimootoriga pügamismasinad on neist puudustest vabad, pealegi annab painduv toitekaabel pügaja käele suurema liikumisvabaduse.

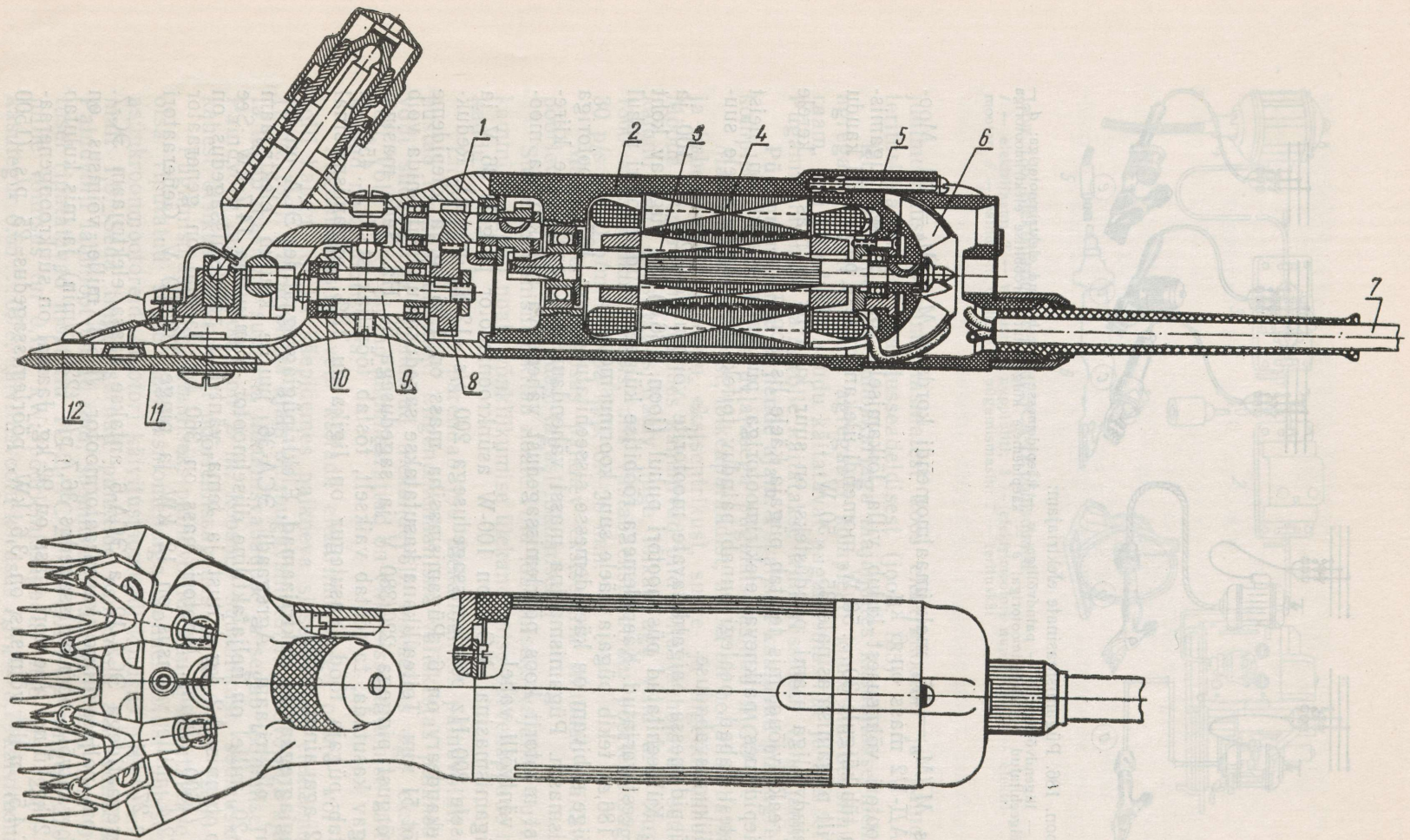
Käepidemesse paigaldatavate mootorite võimsus on 26, 50, 100 ja 210 W. Külgeehitatud püstmootori puhul (joon. 186,*d*) on pügatav koht pügaja eest varjatud. Käepidemega rööbitise külgeehitatud mootori puhul (joon. 186,*e*) tekib pügaja käele suur koormusmoment.

Kõige sobivam on käepidemesse sisseehitatud (joon. 187) mootoriga pügamismasin. Pügamismasina massi vähendamiseks kasutatakse kiirekäigulist mootorit koos pöörlemissagedust vähendava reduktoriga mootori ja väntvõlli vahel.

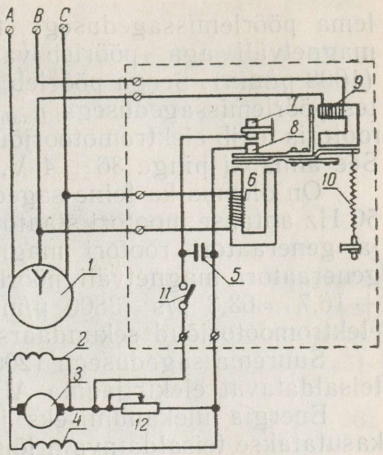
Pügamismasinal МС-4 on 100-W asünkroonmootor pingele 36 V ja sagedusele 200 Hz pöörlemissagedusega 200 p/s (12 000 p/min). Reduktori ülekandearv on 6. Pügamismasina mass on 1,36 kg ja käepideme läbimõõt 51 mm. Toiteallikana kasutatakse sagedusmuundurit, mida võib toita võrgust pingega 220/380 V ja sagedusega 50 Hz. Seda masinat on mugav kasutada, ta töötab vaikselt, tõstab tööviljakust 30 ... 45% ja hõlbustab pügaja tööd. Kasutegur on ligikaudu 13%, pügamismasinal ШЗМ-2 aga ainult 8,5%.

Pügiagregaatide elektrijaamad. Elektripügiagregaatidel ЭСА on teisaldatav elektrijaam. Agregaadi ЭСА-36 juurde kuulub elektrijaam ДПЭС-20, millel on neljataktiline diiselmootor võimsusega 14,7 kW. See kulutab tunnis 4,2 kg kütust ja tema väntvõlli pöörlemissagedus on 25 p/s (1500 p/min). Mootori mass on 360 kg. Jaamal on generaator МСА-72/4, mille võimsus on 12 kW ja pinge 230/400 V. Generaatori mass on 275 kg.

Agregaatidega ЭСА-12 ja ЭСА-6 antakse kaasa elektrijaam ЭС-7. Sellel on neljataktiline karburaatormootor Л-6/3, mille võimsus on 4,4 kW, väntvõlli pöörlemissagedus 36,7 p/s (220 p/min) ja mis kulutab tunnis 2 kg kütust. Mootori mass on 92 kg. Jaamal on sünkroongeneraator СГ-4,5, mille võimsus on 3,6 kW, pöörlemissagedus 25 p/s (1500



Joon. 187. Käepidemisse sisseehitatud mootoriga pügamismasin:
1 — pügamismasina pea; *2* — elektrimootor; *3* — rootor; *4* — staator; *5* — tagumine kaitsekest; *6* — ventilaator; *7* — toitejuhe; *8* — reduktor; *9* — ekstsentriku võll; *10* — kuullaager; *11* — kamm; *12* — nuga



Joon. 188. Pingeregulaatori ABPH-1 elektriskeem:
1 — generaatori staator; *2* — generaatori ergutusmähis; *3* — erguti ankur; *4* — erguti ergutusmähis; *5* — kondensaator; *6* — regulaatori pingemähis; *7* — liikumatu kontakt; *8* — liikuv kontakt; *9* — regulaatori voolumähis; *10* — reguleervedru; *11* — regulaatori lüliti; *12* — ergutusreostaat

p/min), cos $\varphi = 0{,}8$, pinge 230/400 V, erguti pinge 22 V. Generaatori mass on 124 kg.

Mootor koos bensiinipaagiga ning generaator koos jaotuskilbi ja reguleerreostaadiga paigaldatakse torudest kokkukeevitatud raamile. Mootor sidurdatakse generaatoriga reduktori kaudu, mille ülekandearv on 1,5.

Jaotuskilbile on paigaldatud voltmeeter 250 V, ampermeeter 20 A, nupplüliti KA-73A, sulavkaitsmed, pistikupesad (kolme- ja kahepooluseline), reguleerreostaadi käepide ja pingeregulaator.

Automaatne vibratsioonpingeregulaator ABPH-1 (joon. 188) säilitab generaatori pinge muutumatuna tühikäiguolukorrast kuni nimikoormuseni. Ta põhineb erguti ergutustakistuse perioodilisel (sagedusega 100 Hz) lühistamisel.

Kontaktide *7* ja *8* puutekestuse määravad vedru pingus, generaatori koormusvool ja generaatori pinge. Vedru teatud pinguse puhul kontaktide puutekestus koormuse suurenemisel ja pinge alanemisel pikeneb, mistõttu pikeneb ka erguti ergutusmähisest tugevaima voolu läbimise kestus. See tõstab ergutuspinget, mis omakorda tugevdab generaatori ergutusvoolu ja tõstab generaatori pinget. Viimase tõusmisel kontaktide puutekestus lüheneb ja generaatori pinge stabiliseerub.

Regulaatorit häälestatakse järgmiselt. Generaatori nimipöörlemissagedusel koormuseta olukorras lülitatakse lülitiga *11* regulaator välja ja reostaadiga *12* reguleeritakse generaatori pinge poolele nimiväärtusest. Seejärel lülitatakse regulaator sisse ja reguleeritakse vedru *10* pingust seni, kuni klemmidel saadakse normaalpinge. Koormusel säilitab regulaator pinge muutumatuna täpsusega $\pm 5\%$. Regulaatori kontaktid *7* ja *8* on arvestatud voolule kuni 5 A, mähis *6* pingele 220 V ja mähis *9* voolule kuni 11 A.

Sisseehitatud mootoritega pügamismasinaid toidetakse sagedusmuundurist И-75-Б, mida toodetakse Viiburi tehases «Elektroinstrument». See vajab võimsust 4,85 kVA ja arendab ise võimsust 3,5 kVA pöörlemissagedusel 46,6 p/s (2800 p/min). Muundur koosneb ühe poolusepaariga lühisasünkroonmootorist ja kolme poolusepaariga faasasünkroonmootorist. Mõlema elektrimasina mootorid on ühisel võllil ja staatorid on mahutatud ühisesse keresse. Mootori ja generaatori staatorimähiseid toidetakse 50-Hz vahelduvpingega 220/380 V nii, et nende magnetväljad pöörlevad vastassuunas. Muunduri pingestamisel paneb tema mootor rootori pöör-

lema pöörlemissagedusega 46,6 p/s (2800 p/min), generaatori staatori magnetväli aga pöörleb vastassuunas pöörlemissagedusega 16,7 p/s (1000 p/min). Seega pöörleb generaatori rootor staatori magnetvälja suhtes pöörlemissagedusega $n_{suht} = 46{,}6 + 16{,}7 = 3 \cdot 63{,}3$ p/s (3800 p/min) ja rootoris tekib elektromotoorjõud sagedusega $f_2 = p_2 n_{suht} = 3 \cdot 63{,}3 = 190$ Hz. See annabki pinge 36 ± 4 V, millega toidetakse pügamismasinaid.

On olemas ka teine sagedusmuunduri lülitus. Võrgupinge sagedusega 50 Hz antakse mootori staatorile ja generaatori rootorile. Mootori staatori ja generaatori rootori magnetvälja pöörlemissuunad ühtivad, mistõttu generaatori magnetväli pöörleb summaarse pöörlemissagedusega $46{,}6 + 16{,}7 = 63{,}3$ p/s (3800 p/min) ja generaatori staatoris indutseeritakse elektromootorjõud sekundaarsagedusega 190 Hz.

Suurema sagedusega (200 Hz) toitevoolu saamiseks võib kasutada ka teisaldatavat elektrijaama АБ-8-Т/230.

Energia ülekandmiseks jõujaama generaatorist pügamismasinatesse kasutatakse teisaldatavaid jõu- ja valgustusliine. Agregaadi ЭСА-12 liinid on valmistatud kolmesoonelisest kaablist ШРПС, mille soonte ristlõige on 2,5 mm^2. Kaabli lõppu on ühendatud pistik, mis lülitatakse elektrijaama jaotuskilbil olevasse kolmepooluselisse pistikupessa.

Pügamismasinate elektrimootorite võrkulülitamiseks on jaotusvõrgus 12 kolmepooluselist pistikupesa, mis paiknevad 1,8-m vahedega, ja kaks kolmepooluselist pistikupesa terituskäiade lülitamiseks. Mootorite käivitamiseks ja seiskamiseks vajutatakse nupplülititele. Valgustuslampide võrkulülitamiseks on võrgus 7 kahepooluselist pistikupesa.

Kogu võrgu väljalülitamiseks on lisaks peavinnaklülitile olemas veel pügamisruumi paigaldatud nupplüliti. Töökohtade valgustamiseks kuulub komplekti 8 karboliidist lambipesa koos 1 m pikkuste juhtmetega. Võrguliinid riputatakse 1,5 m kõrguste postide külge kinnitatud laudadele. Kõigi mootorite kered maandatakse eraldi juhtmete ja maandusvarraste abil.

Agregaatidel ЭСА on maandusseadeldis, mille moodustab 70 m pikkune ja 3 ... 4 mm jämedune painduv juhe (jooteharunditega kõigi elektrimootorite juurde), mis on ühendatud maanduri külge. Viimane koosneb kahest 2 m pikkusest torust (läbimõõt 50 mm), mis kaevatakse maasse kuni 2 m sügavuselt ja ühendatakse omavahel latiga.

Terituskäiade elektriajam. Pügamismasinate nugade ja kammide teritamiseks on agregaatidel ühe- või kahekettalised terituskäiad, mille mootori võimsus on 0,4 kW, pöörlemissagedus 24,2 p/s (1450 p/min) ja pinge 220/380 V.

Malmalusele paigutatud terituskäi ТАД-350 koosneb elektrimootorist ja selle võllile paigutatud kahest malmterituskettast, mis on pealt kestadega kaetud. Kestade külge kinnitatakse hoidikud, mille abil nuge ja kamme teritamise kestel ketta pinnal hoitakse. Enne teritamist kaetakse ketta pind õli ja petrooleumiga segatud smirgelpulbri õhukese kihiga. Terituskетta läbimõõt on 350 mm, paksus 10 ... 12 mm. Terituskäia mootor töötab kestvas muutuvkoormuse talitlusolukorras. Agregaadi ЭСА-12 jaoks on kaks ketast: üks teritamiseks, teine lihvimiseks.

Villa pressimise ja teisaldamise elekromehhaniseerimine. Villa pallideks pressimise jaoks kasutatakse suurtes pügamis- ja varumispunktides horisontaalseid presse, mille tootlikkus on umbes 0,1 kg/s (350 kg/h). Press ГП1-10А pressib villa pallideks tihedusega kuni 520 kg/m^3. Selle pressi abil on võimalik siduda traadiga palle, mille mõõtmed on $0{,}62 \times 0{,}52 \times 0{,}425$ m ja mass 70 kg. Ühele pallile kulub 2,7 m^2 kotiriiet ja 0,45 kg traati.

Pressi mootorit, mille võimsus on 2,8 kW, juhitakse reversiivmagnet-

käiviti ja kahe lõpplülitiga, mis seiskavad mootori pressimisplaadi jõudes eesmisse või tagumisse piirasendisse.

Suurtes elektromehhaniseeritud pügamispunktides kasutatakse villa teisaldamiseks transportööre (pügaja töökohalt kaaluja-arvestaja laua juurde, mis asub 60. . . 90 m kaugusel).

§ 8. Linnukasvatuse elektromehhaniseerimine

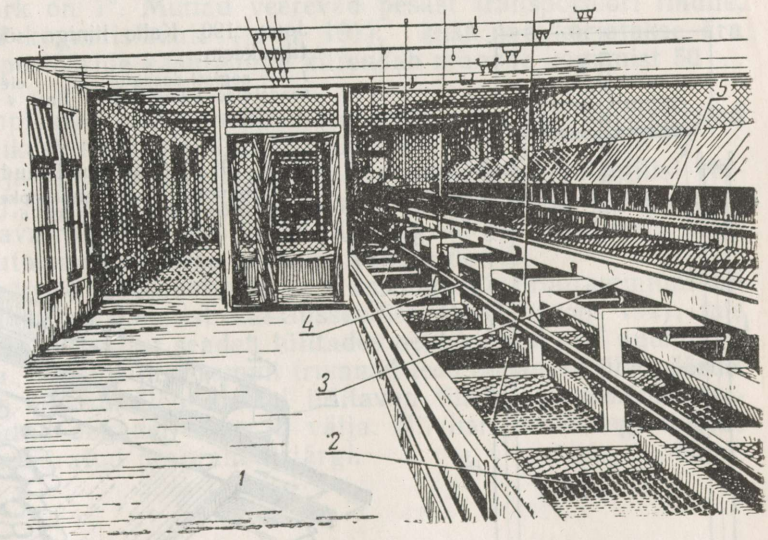
Linnukasvatuses rakendatakse elektrienergiat inkubaatori üksikute sõlmede käitamiseks, söödavalmistus- ja -jaotusmasinate käitamiseks, munakogumistransportööride ja sõnnikueemaldusseadeliste käitamiseks, vee pumpamiseks, lindlate sundõhustamiseks, samuti mitmesuguste sõlmede ja seadmete automaatjuhtimiseks.

Nüüdisaegsed kahepoolse valgustusega laikanalad on 12, 18 või 24 m laiad ja mahutavad 5000 kuni 25 000 kana.

Linde peetakse sügaval allapanul, mida pikal ajavahemikul ei vahetata, ja võrk- või varbpõrandal, kusjuures kõik tööd on komplekssel mehhaniseeritud.

Üleliidulises Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudis (ВИЭСХ), Üleliidulises Põllumajanduse Mehhaniseerimise Instituudis (ВИСХОМ) ja koondise «Põllumajandustehnika» Keskkonstrueerimisbüroos (ЦКБ «Сельхозтехники») töötati aastatel 1959 . . . 1961 välja uus masinasüsteem tööde komplekssels mehhaniseerimiseks suurtes lindlates. Selle süsteemi puhul pole vahekäike vaja.

Joonisel 189 on kujutatud lindla planeering ja 6 m laiuse tehnoloogiaseadmestiku paigutus. Piki üht lindla seina on vaba, sügava allapanuga ruum *1*. Lindla tehnoloogiaosa — sõnnikukorv *2* koos rõhtsale raamistikule toetuva seadmestikuga — on piki lindla teist seina. Kanade söötmiseks kasutatakse kogu lindla pikkusi söödakünade renne *3*, jootmi-



Joon. 189. Mehhaniseeritud kanala tehnoloogiaseadmestik:
1 — sügava allapanuga vaba ruum; *2* — sõnnikukorv; *3* — söödakünade renn; *4* — rennikujuline jootmisautomaat; *5* — mehhaniseeritud rühmapesad

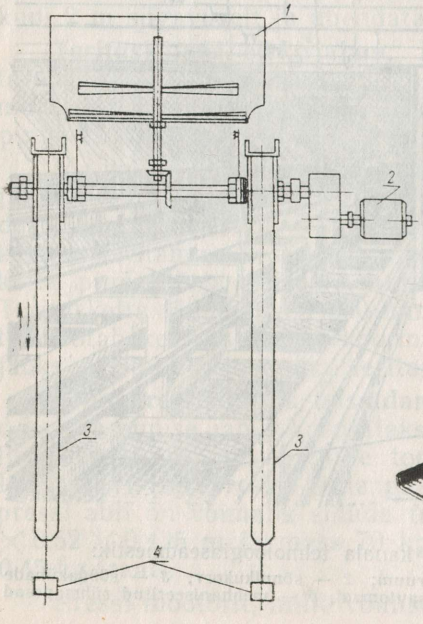
seks — rippuvat rennikujulist jootmisautomaati *4*, munade kogumiseks aga mehhaniseeritud rühmapesi *5*.

Sõnnikukorvi kõrgus valitakse vastavalt lindude tõule ja vanusele, munakanade jaoks näiteks kuni 700 mm. Selline korv mahutab 6000 ... 7000 kana sõnniku. Kanade sõnnikust langeb 80 ... 90% läbi võrgu (25 × × 25 mm) ja koguneb korvi. 1 ... 2 korda aastas koristatakse sõnnikut buldooseriga. Et liigenditele kinnitatud võrkpõrandasektsioone saaks sel juhul üles pöörata, tehakse sõnnikukorv ja söödakünad sektsioonidena. Allapanupoolselt küljelt kaetakse sõnnikukorv metallvõrguga, et linnud ei saaks korvi minna. Põranda juurde on kogu sõnnikukorvi pikkuselt kinnitatud 20 mm paksune laud, mis ulatub allapanust 100 mm võrra kõrgemale, et allapanu ei satuks sõnnikukorvi.

Lindude jootmiseks kasutatakse rennikujulisi jootmisautomaate *4*, mis riputatakse lae külge ja mis paiknevad 200 mm kaugusel sõnnikukorvi servast. Neis säilitatakse pidevalt 15 ... 20 mm sügavuselt vett, mida juhitakse renni ühest otsast veetoru kaudu juurde. Võrkfilter püüab kinni vette sattunud suuremad söödatükid ja suled. Pealt on jootjad kaitstud, et linnud ei saaks neile istuda. Ruumi koristamise ajaks tõstetakse jootmisautomaadid vintsi abil üles.

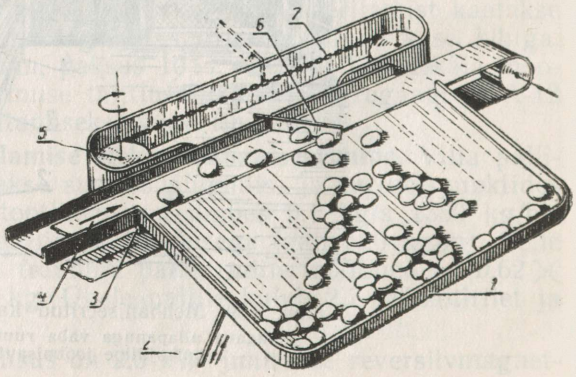
Sööta jaotatakse lintsöödajaoturiga (joon. 190), mis koosneb segistist-dosaatorist *1* elektrimootorist *2*, seadeldisest *3* koos pinguldusseadisega *4*. Seadeldis kujutab endast suletud ringi, mis koosneb kummeeritud lindist ja trossist. Lint liigub mööda sõnnikukorvile paigutatud söödakünade renni põhja.

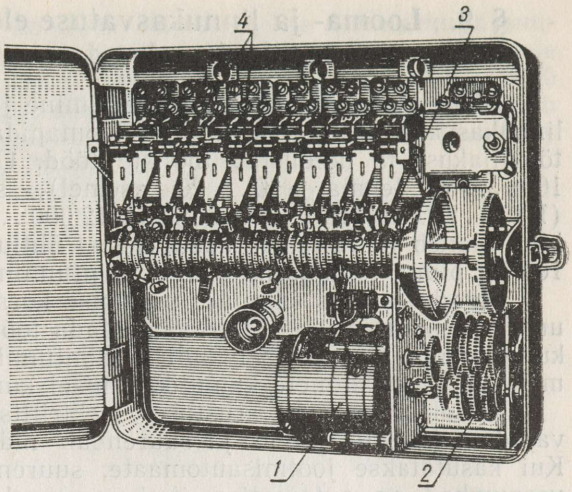
Töökäigul liigub lint mööda söödakünа põhja, kandes sööta laiali. Sööt satub punkrist lindile ühtlase kihina. Lindi liikumise kiirus on 0,8 m/s. Sellisel kiirusel ei jõua kanad valida lindilt paremaid palasid ja nad saavad ühesuguse koostisega sööta. Lint pöördub tagasi söödakünade alt, lindi asemele aga tuleb tross. Söödakünade põhi avaneb. Lindi ja trossi ühenduskohale on kinnitatud kraap, mis puhastab sööda-



Joon. 190. Kahe liiniga söödajaoturi kinemaatikaskeem:
1 — segisti-dosaator; *2* — elektrimootor; *3* — veoseadeldise kummeeritud lint; *4* — pinguldusseadeldis

Joon. 191. Munakogumislaud:
1 — rinnatis; *2* — teleskoopkeps; *3* — liigend; *4* — transportööri lint; *5* — tugi; *6* — äratõukekraap; *7* — kett





Joon. 192. Käsklusseadis lindlates tootmisprotsessi töövõtete automaatseks programmjuhtimiseks:
1 — elektrimootor; *2* — reduktor; *3* — programmitrummel; *4* — teekonnalülitid

künade renni põhja ja seinad söödajäätmetest. Söödajaotusliinide arv sõltub lindla tüübist ja mahutavusest.

Lintsöödajaoturid jaotavad mistahes sööda kiiresti laiali (3 minutiga 25 000 kanale). Söödajaotamist on võimalik ka automatiseerida.

Mehhaniseeritud rühmapesad on puidust ja nad paiknevad kahe piki reana kanala keskel 500 mm kõrgusel võrkpõrandast. Pesad kinnitatakse hoone tugipostide külge või sõnnikukorvile. Pesa esiseina kõrgus on 350 mm, tagaseina kõrgus 800 mm, sügavus 350 mm. Põrand on kaetud kummiplaadiga, mis tagab põranda isepuhastumise sõnnikust Põranda kaldenurk on 7°. Munad veerevad pesast transportööri lindile, mis kannab need kogumislauale (joon. 191), kust nad korjatakse ära käsitsi. Linttransportööride kasutamine kiirendab munade kogumist 50 ... 60% võrra.

Lindlate kompleksne elektromehhaniseerimine vabastab linnutalitajad raskest vähetootlikust tööst sõnniku koristamisel.

Käesoleval ajal sooritatakse lindlates üha rohkem tehnoloogilisi võtteid automaatselt, ilma inimese osavõtuta. Näiteks säilitab automaatne pumbajaam nõutava rõhu veetorustikus, sõltuvalt õhu temperatuurist lindlas lülitatakse automaatselt sisse ja välja ventilaatorid.

Elektervalgustuse, söödajaoturite ja munakogurite programmjuhtimiseks kasutatakse mitmeahelalist käsklusseadist МКП (joon. 192), mis võib üheaegselt juhtida mitut seadet, lülitades neid kindlal ajal automaatselt sisse ja välja. Seadme programmi trummel teeb ööpäevas ühe pöörde. Trumli pinnal on tihvtid. Pöörlemisel lülitavad tihvtid järgemööda teekonnalüliteid nõutud aegadel sisse ja välja. Niiviisi juhitaksegi lindlas mehhanisme ettemääratud programmi järgi.

§ 9. Looma- ja linnukasvatuse elektromehhaniseerimise tehnilis-majanduslikud andmed

Tööde kompleksne mehhaniseerimine ja automatiseerimine looma- ja linnukasvatuses ning eesrindlike loomapidamisviiside juurutamine tõstab tööviljakust ja hõlbustab tööliste tööd. Üks karjatalitaja võib talitada 100...150 lehma (10...20 asemel), seatalitaja 1500...2500 siga (100...200 asemel), linnutalitaja 12 000...15 000 lindu. Toodangu omahind alaneb ja väljalase aasta kestel ühtlustub. Näiteks väheneb töökulu 100 kg piima tootmiseks 4...6 inimtunnini.

Sigade suurtes sulgudes pidamise korral nuumsigalates võimaldavad uued mehhaniseerimisvõtted vähendada töökulu 100 kg sealiha tootmiseks kuivsöödaga nuumamisel kuni 2 inimtunnini ning vedelsöödaga nuumamisel ja toidujäätmete kuumtöötlemisel kuni 3 inimtunnini.

Veiselautade veevarustuse elektrifitseerimine vähendab tunduvalt vajadust tööliste järele ja suurendab märgatavalt loomade toodangut. Kui kasutatakse jootmisautomaate, suureneb tööviljakus 40 korda. Kui veepumbad on automatiseeritud, suureneb tööviljakus 160 korda. Veevarustuse elektrifitseerimise korral ulatub kogu tööjõu sääst loomakasvatuses 20%-ni.

Lehmalüpsi elektromehhaniseerimise tõhusus sõltub kasutatava seadmestiku tüübist ja lüpsjate töö korraldamisest.

Veod moodustavad kogu loomafarmis tehtavast tööst 30...40%. Elektrifitseeritud veovahendite kasutamise korral kasvab tööviljakus 1,5 korda, elektrifitseeritud veovahendite tootlikkus aga on mitteelektrifitseeritutega võrreldes 7...20 korda suurem. Veovahenditega säästetakse umbes 30% tööjõudu.

Lambaid pügatakse 1...2 korda aastas. Kääridega pügatakse maksimaalselt 25 lammast päevas. Pügamismasinate kasutamine hõlbustab pügajate tööd tunduvalt. Tööviljakus suureneb 3...4 ja rohkem korda. Iga pügamismasin vabastab kõige pingelisema töö ajal 2...3 inimest. Elektrpügi korral on villa kvaliteet ühtlasema ja madalama lõike tõttu parem, villasaak aga suureneb 8...10% (ühe lamba kohta 150...300 g villa), sest villa ei lõigata nüüd nii palju katki. Seadmete hankimiseks ja nende kasutamisel tehtud kulutused kaetakse juba esimesel aastal.

Villatransportöör vabastab abitöölised villa kandmisest ja vähendab inimeste edasi-tagasi-käimist. Pügamispunktis kujuneb vooltootmine ning villa kaalujate-arvestajate ja sorteerijate töö muutub rütmiliseks. Villatransportööri KTP-1 kasutamise korral säästetakse iga tuhande villaku kohta 6700...7000 rubla.

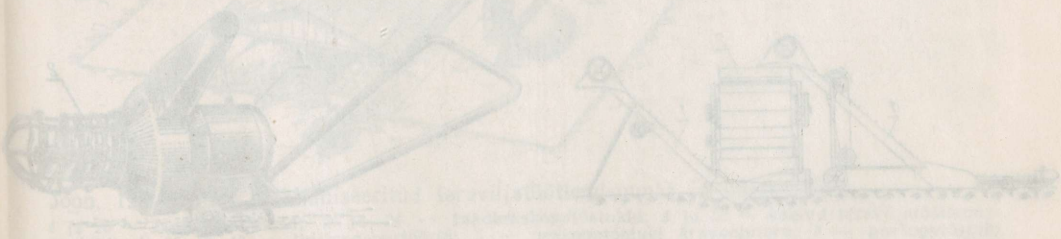
Villa pressimine pressiga suurendab tööviljakust 2...3 korda ja vähendab pakkematerjali kulu. Veokite ärakasutamine suureneb peaaegu 2 korda. Villaveo maksumus väheneb samuti peaaegu 2 korda.

Uus tehnoloogia kanade pidamisel laikanalates mittevahetataval sügaval allapanul vabastab linnutalitaja kõige töömahukamast tööst — igapäevasest ruumide koristamisest ja allapanu vahetamisest, mis moodustab üle poole kogu töökulust lindude hooldamisel. Talvel on sügava allapanuga lindlates soe ja kanade munatoodang suureneb, mis ühtlustab toodangu andmist aasta kestel.

Ühe linnukoha maksumus suures lindlas on 1,5...2 korda väiksem kui sama kogumahutavusega mitmes väikeses hoones. Sellele avaldab mõju mehhaniseerimisvahendite (ajamite ja pinguldusseadeldiste, punkrite dosaatorite, veetorustiku sisestuse, kanalisatsiooni, elektriliinide sisestuse, jaotuskilpide, elektervalgustuse jaotusvõrgu ja valgustite) maksumuse osa, mis tegelikult lindla mõõtmetest ei sõltu.

Linnutalitajate tööviljakus on uuele tehnoloogiale üleminekuga suurenenud 2 ... 3 korda. Lailindlas kulutatakse 10 000 munakana söötmisele 2 h 50 min., tavalises mehhaniseerimata lindlas aga, kus peetakse 2000 munakana, nõuab 10 000 kana söötmine 20 h 50 min. Mehhaniseeritult kulub 10 000 munakana munade kogumiseks ligikaudu 1 h 30 min., tavalistes kanalates käsitsi kogumisel aga 2000 kana kohta 6 tundi.

Mehhaniseeritud lindlates kulub 1000 muna tootmisele 1 h 20 min. kuni 1 h 30 min.



XI PEATÜKK

TAIMEKASVATUSE AUTOMATISEERIMINE JA ELEKTROMEHHANISEERIMINE

§ 1. Sovhooside ja kolhooside teraviljapuhastus-kuivatuspunktide elekterkäitus ja automatiseerimine

Pärast kombainiga koristamist tuleb teravilja veel täiendavalt puhastada umbrohuseemnetest, kui aga vili on liiga niiske, siis ka kunstlikult kuivatada.

Teravilja mehhaniseeritud puhastuspunktide ning puhastus-kuivatuspunktide seadmestikku kuuluvad teraviljapuhastid, viljakuivatid, sorteerimismasinad, triöörid, viljapuhurid, kopptõstukid, linttransportöörid, teraviljalaadurid ning mitmed teised masinad ja mehhanismid.

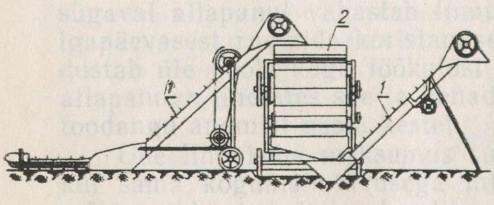
Täiuslikud teraviljapuhastid on elektriajamiga käitatavad. Teisaldataval viljapuhastil OCM-5 tootlikkusega 1,39 kg/s (5 t/h) on kaks elektrimootorit. Üks on puhastatud teravilja imitõstuki ventilaatori, teine aga masina ülejäänud mehhanismide käitamiseks. Teraviljakuivatitel C3C-2 ja C3C-3 on rühmaelektriajam (üks ja seesama elektrimootor käitab kopptõstukit, ventilaatorit ja kuivati väljalaadimismehhanismi). Linttransportööriga teraviljalaaduritel on individuaalelektriajam. Joonisel 193 on kujutatud laaduritega teraviljapuhastusmasin.

Joonisel 194 on kujutatud teisaldatav viljapuhur. Selle elektrimootor on vahetult sidurdatud viljapuhuri ventilaatori ja teoga, mis tõmbab teri juurde.

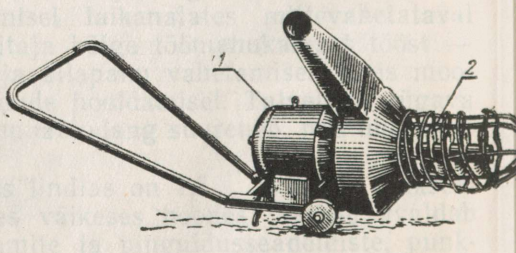
Joonisel 195 on kujutatud teisaldatava puhtimismasina ПУ-1 elektriajam. Elektrimootor ja transmissioon on kinnitatud raamile. Elektrimootor käitab rihmülekande kaudu vaheajamit ja see omakorda rihmaratast, mis on kinnitatud puhtija teo külge.

Teraviljapuhastite, viljakuivatite ja teraviljalaadurite üleviimine elekterkäitusele parendab nende töötingimusi.

Vooltootmise rakendamine teravilja koristusjärgsel töötlemisel ja



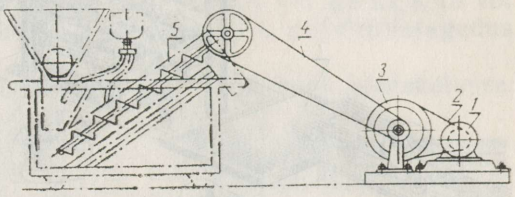
Joon. 193. Viljalaaduritega teraviljapuhastusmasin:
1 — teraviljalaadurid; *2* — teraviljapuhasti



Joon. 194. Teisaldatav viljapuhur:
1 — elektrimootor; *2* — tigu

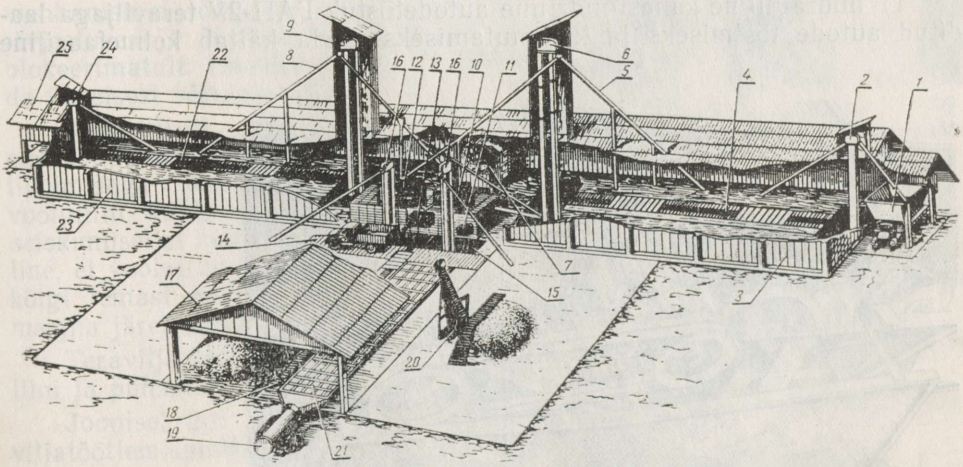
salve paigutamisel (puhastamisel, kuivatamisel, teisaldamisel) loob eeldused töö kompleksseks mehhaniseerimiseks ning tehnoloogia juhtimise, kontrollimise ja reguleerimise tsentraliseerimiseks ja automatiseerimiseks. See suurendab tööviljakust, parendab töötlemise kvaliteeti, vähendab töötlemiskulusid ja 1 t teravilja töötlemise maksumust.

Teravilja töödeldakse mitmesuguse tehnoloogia järgi. Lihtne tehnoloogia põhineb algelistel mehhaniseerimisvahenditel, täiuslikult mehhaniseeritud tehnoloogia aga automatiseeritud seadmetel.

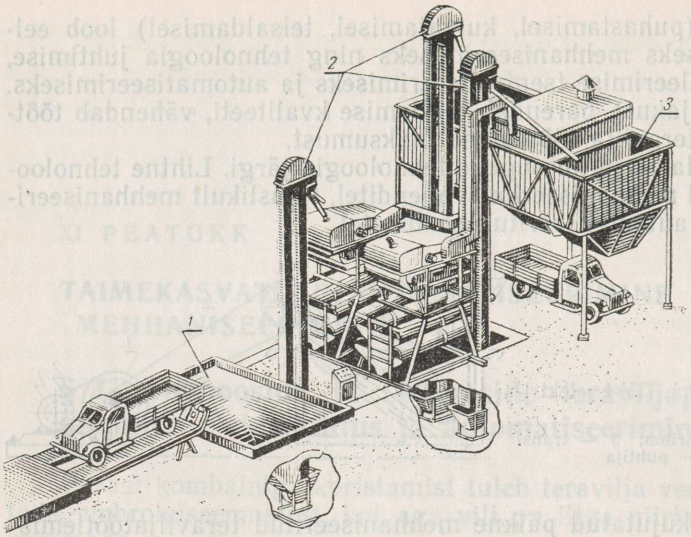


Joon. 195. Puhtimismasina ПУ-1 elektriajam:
1 — elektrimootor; *2* — kiilrihm; *3* — transmissioon; *4* — lamerihm; *5* — puhtija

Joonisel 196 on kujutatud paikne mehhaniseeritud teraviljatöötlemispunkt ja viljahoidla (loodud Kirgiisia Teaduslikus Uurimise Instituudis), mis on määratud tera- ja kaunviljade puhastamise, kuivatamise ja laadimise kompleksseks mehhaniseerimiseks koristustööde kestel ning sööda- ja toiduteravilja koristusjärgseks säilitamiseks, samuti seemnevilja puhastamiseks ja säilitamiseks. Siin toimub sooja õhuga soojendamine, sundõhustamine, kuumkuivatamine ja mehaaniline läbipuhumine, seemnevilja külvieelne jaroviseerimine ning puhtimine. Viljahoidla koosneb masinaosakonnast ja viljakuivati ahjude ruumist. Masinaosakonnast paremal ja vasakul paiknevad kaetud teraviljatöötlemispunktid ja viljahoidlad koos asfalteeritud väljakutega liikuvate mehhaniseerimisvahendite jaoks. Mehhaniseeritud teraviljatöötlemispunkti paigaldatakse järgmised tehnoloogiaseadmed: koormakaalud A-10 teraviljaga laaditud autode kaalumiseks,



Joon. 196. Paikne mehhaniseeritud teraviljatöötlemispunkt ja viljahoidla:
1 ja *25* — laadimispunkrid; *2* ja *24* — laadimiskopptõstukid; *3* ja *23* — kaetud teraviljatöötlemispunktid; *4*, *22* ja *18* — linttransportöörid; *5* — peakopptõstuki äravoolutoru; *6* — peakopptõstuk; *7* — juhtimispult; *8* — jaotuskopptõstuki äravoolutoru; *9* — jaotuskopptõstuk; *10* — teraviljapuhasti; *11* — ventilaator jäätmete teisaldamiseks; *12* — teraviljapuhasti; *13* — tuulaja-sorteerija; *14* — autodetõstuk; *15* — puhastamata vilja punker; *16* — söötekopptõstuk; *17* — katusealune; *19* — õhusoojendi; *20* — iseteisalduv viljalaadur; *21* — õhustusrestid

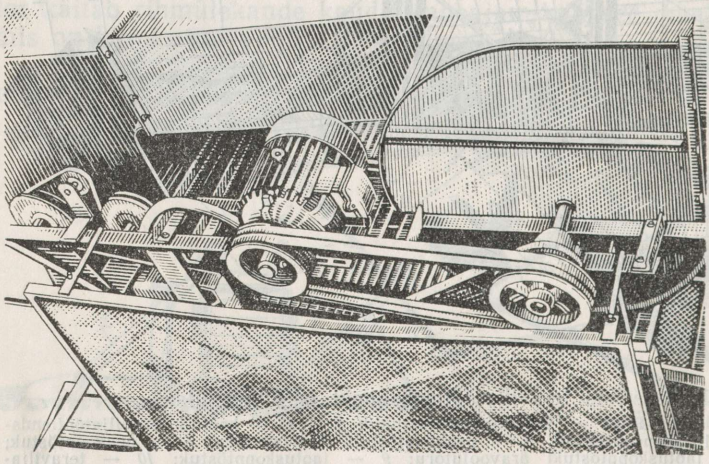


Joon. 197. Teraviljapuhastuspunkt tootlikkusega 5,6 kg/s (20 t/h):
1 — puhastamata vilja punker; *2* — kopptõstuk; *3* — puhastatud teravilja punker

autodetõstuk 2AC-M, teraviljapuhasti, 2 viljakuivatit СЗС-2, 2 kopptõstukit ТНЖ-10 ja 3 kopptõstukit ВН-20, 3 linttransportööri ЛТ-30, tuulaja-sorteerija ВС-8 jäätmete töötlemiseks, õhusoojendi ВП-400, põrandal teisaldatav teravilja sundõhustusseade ВНИИЗ ja viljalaadur ЗС-60. Masinaid ja mehhanisme juhib operaator keskjuhtimispuldilt.

Joonisel 197 on kujutatud teraviljapuhastuspunkt tootlikkusega 5,6 kg/s (20 t/h). See on määratud teraviljade koristusjärgseks puhastamiseks. Sellega on võimalik töödelda ka seemnevilja. Töötlemispunkti on paigaldatud järgmised masinad:

1) hüdrauliline kahesilindriline autodetõstuk ГАП-2У teraviljaga laaditud autode tõstmiseks ja kummutamiseks. Seda käitab kolmefaasiline



Joon. 198. Teraviljapuhasti ЗВС-10 elektriajam

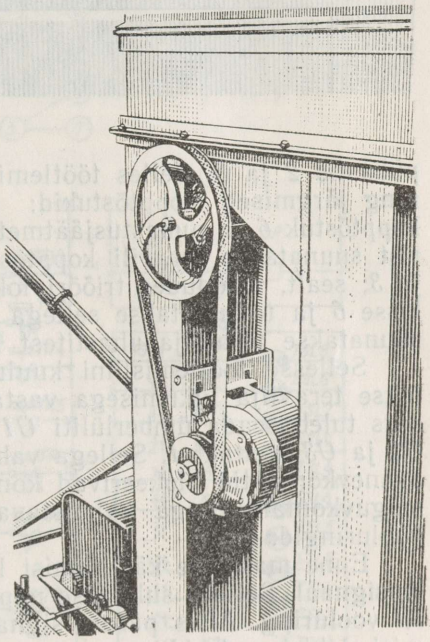
elektrimootor, mille võimsus on 4,5 kW ja pöörlemissagedus 15,8 p/s (950 p/min);

2) paikne teraviljapuhasti ЗВС-10, mille tootlikkus on 2,8 kg/s (10 t/h) ja mis on määratud teravilja puhastamiseks pärast kombainiga koristamist. Seda käitab 7,5-kW elektrimootor (joon. 198), mille pöörlemissagedus on 24,2 p/s (1450 p/min);

3) triööriplokk БТ-10 viljasegust pikkade ja lühikeste lisandite eraldamiseks, näiteks nisust tuulekaera-, nisulille- ja tatraseemnete ning purustatud terade eraldamiseks. Plokis on neli triööri, mis töötavad järjestikku või rööbiti. Ploki tootlikkus on vastavalt 1,4 kg/s või 2,8 kg/s (5 või 10 t/h). Triööriplokki käitab 2,8-kW elektrimootor, mille pöörlemissagedus on 24,2 p/s (1450 p/min);

4) kopptõstuk НЗ-20 terade tõstmiseks teraviljapuhasti söötekolusse. Tootlikkus mistahes koostisega nisukuhja laadimisel on 5,6 kg/s (20 t/h). Kopptõstukit käitab 2,8-kW elektrimootor (joon. 199), mille pöörlemissagedus on 23,7 p/s (1420 p/min);

5) kopptõstuk НЗ-5 triööride ja teraviljapuhastite poolt viljast eraldatud jäämete tõstmiseks. See on kaksiktõstuk, mida käitab 2,8-kW elektrimootor, mille pöörlemissagedus on 23,7 p/s (1420 p/min). Rootori paigutus sarnaneb joonisel 199 kujutatuga.



Joon. 199. Kopptõstuki НЗ-20 elektriajam

Mehhanisme ja tehnoloogia- juhib juhtimispuldilt operaator. Juhtimispuldile on paigaldatud käivitus- ja signalisatsiooniaparatuur. Vaade juhtimispuldile on kujutatud joonisel 200.

Juhtimislülitus võimaldab elektrimootorite, masinate ja mehhanismide töötamist blokeeritult (masinad ja mehhanismid töötavad rangelt kindlas järjestuses ja üksteisest sõltuvalt) või blokeerimatult (masinad võivad töötada ükseisest sõltumatult).

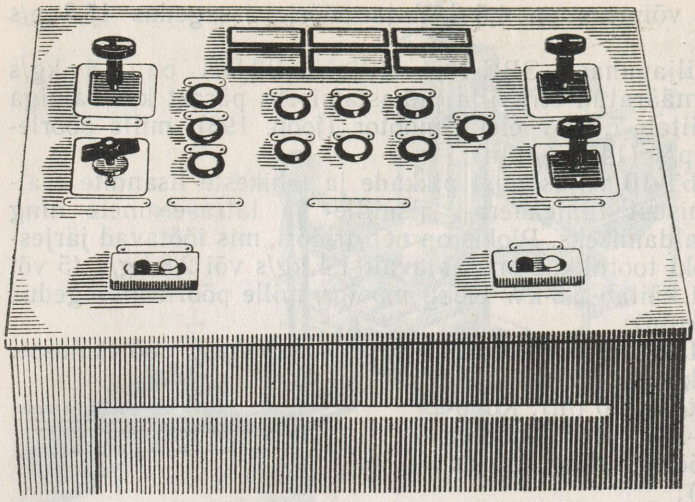
Blokeeritult töötavate masinate elektrimootoreid käivitatakse teravilja liikumisega vastupidises suunas, et vooluliini kuuluva mingi ühe masina seiskumisel ei kuhjuks kusagile teravilja. Elektriline juhtimislülitus on selline, et vooluliini mingi masina mootori seiskudes seiskuvad automaatselt kõigi temast eespool olevate masinate mootorid, rikkiläinud mootoriga masina järel olevad masinad jätkavad aga tööd.

Teraviljatöötlemispunktis võib moodustada kuus teravilja töötlemise liini ja puhastada vilja kuue tehnoloogia järgi.

Joonisel 201 on esitatud tehases «Voronežselmaš» toodetava teraviljatöötlemispunkti elektri- ja tehnoloogiaskeemid.

Tehnoloogiaskeemidel on masinad nummerdatud järgmiselt: *1* — söötekopptõstuk, *2* — teraviljapuhasti ЗВС-10, *3* — teraviljapuhasti ЗВС-10, *4* — triööriplokk БТ-10, *5* — triööriplokk БТ-10, *6* — puhastatud teravilja kopptõstuk НЗ-20, *7* — puhastusjäätmete kopptõstuk НЗ-5.

Tehnoloogia I. Selle järgi puhastatakse toiduteravilja kahes teravilja-



Joon. 200. Juhtimispult

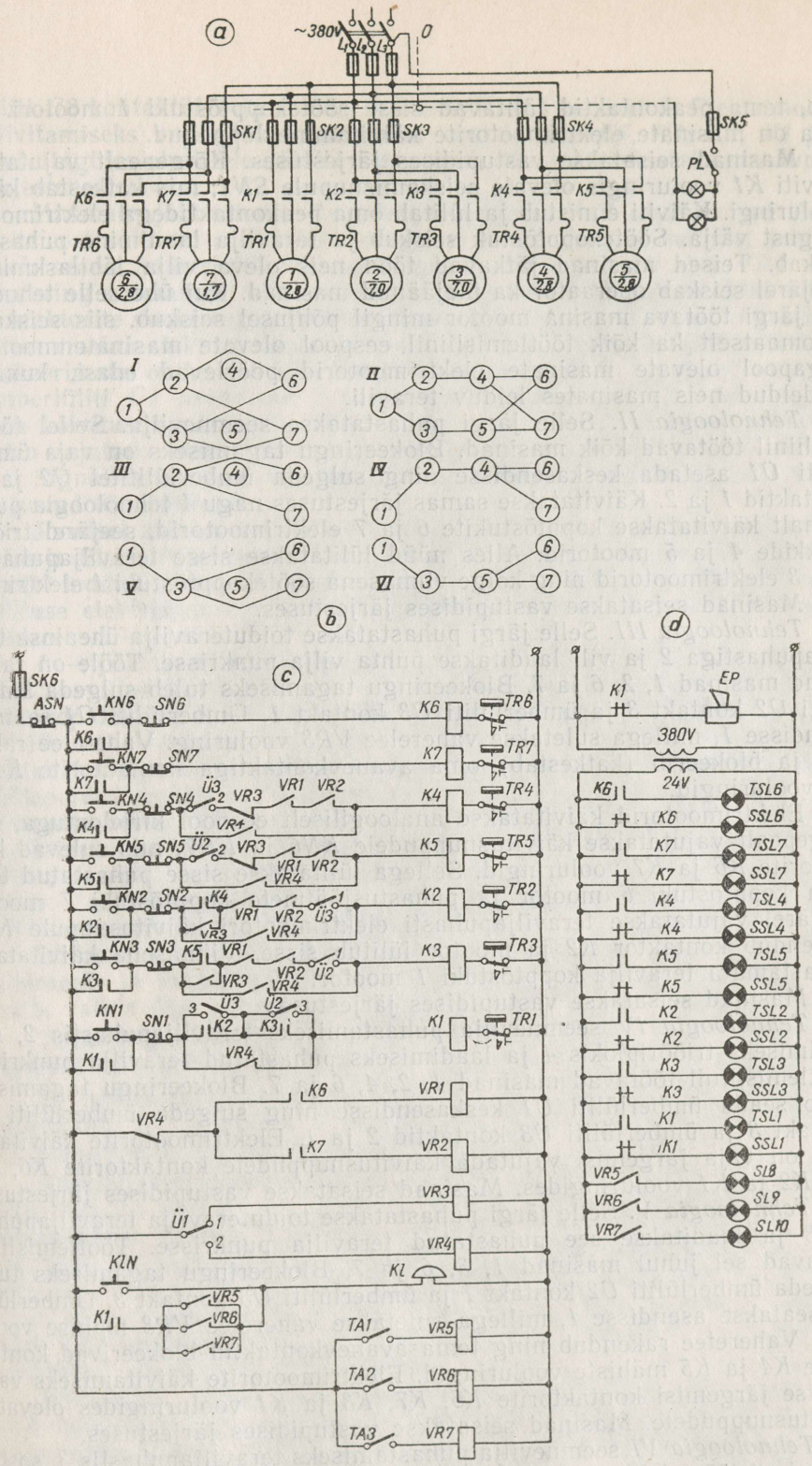
puhastis *2* ja *3*. Selles töötlemisliinis töötavad teraviljapuhastid *2* ja *3* ning järgmised kopptõstukid: söötekopptõstuk *1*, puhastatud teravilja kopptõstuk *6* ja puhastusjäätmete kopptõstuk *7*. Puhastamata vilja punkrist suunatakse teravili kopptõstukiga *1* teraviljapuhastusmasinatesse *2* ja *3*; sealt, möödudes triööriplokist, satub puhastatud teravili kopptõstukisse *6* ja toimetatakse sellega puhastatud teravilja punkrisse. Jäätmed suunatakse teraviljapuhastitest kopptõstukiga *7* jäätmete punkrisse.

Sellesse töötlemisliini kuuluvate masinate elektrimootoreid käivitatakse teravilja liikumisega vastassuunas. Sellise blokeeringuga töötamiseks tuleb seada ümberlüliti *Ü1* asendisse *1* ning sulgeda ümberlülititel *Ü2* ja *Ü3* kontakt *1*. Sellega vaherelee *VR3* mähis pingestatakse ja tema avanevkontaktid blokeerivad kontaktorite *K4* ja *K5* mähiste vooluringid, sulguvkontaktid aga valmistavad ette kontaktorite *K2* ja *K3* mähiste vooluringid.

Enne masinate käivitamist lähetatakse teenindavatele isikutele hoiatussignaal. Selleks suletakse nupplülitile *KlN* vajutamisega signaalkõlisti *Kl* vooluring. Alles pärast signaali lähetamist käivitab operaator järgemisi elektrimootorid.

Kõigepealt vajutab ta käivitusnupule *KN6*. Sulgub kontaktori *K6* mähise vooluring, kontaktor rakendub ja tema sulguvkontaktid lülitavad sisse puhta teravilja kopptõstuki *6* elektrimootori ja sulevad vaherelee *VR1* vooluringi. Vaherelee *VR1* rakendub, tema sulguvkontaktid valmistavad ette kontaktorite *K2* ja *K3* mähiste vooluringid. Käivitusnupule *KN7* vajutamisega sulgub kontaktori *K7* mähise vooluring, käiviti rakendub ning lülitab oma kontaktidega sisse puhastusjäätmete kopptõstuki *7* elektrimootori ja suleb vaherelee *VR2* mähise vooluringi. Rakendub ka vaherelee *VR2*, mille sulguvkontaktid valmistavad ette kontaktorite *K2* ja *K3* mähiste vooluringid. Nüüd on võimalik käivitada ka teraviljapuhastusmasinate *2* ja *3* elektrimootorid. Selleks vajutatakse vastavatele käivitusnuppudele kontaktorite *K2* ja *K3* vooluringides. Kontaktorid rakenduvad, nende peakontaktid lülitavad sisse elektrimootorid ja samaaegselt valmistab nende sulguvkontaktide sulgumine ette kontaktori *K1* vooluringi.

Mootori *1* käivitamiseks vajutatakse käiviti *K1* vooluringis olevale käivitusnupule. Sellega suletakse käiviti mähise vooluring, käiviti raken-



Joon. 201. Tehases «Voronežselmaš» toodetava teraviljatöötlemispunkti skeemid:

a — toitevooluringid; *b* — tehnoloogiaskeemid; *c* — juhtimisahel; *d* — signalisatsiooniahel; *I* ... *VI* — tehnoloogia järjenumber

dub, tema peakontaktid lülitavad sisse söötekopptõstuki *1* mootori. Sellega on masinate elektrimootorite käivitamine lõppenud.

Masinad seisatakse vastupidises järjestuses. Kõigepealt vajutatakse käiviti *K1* vooluringis olevale seiskamisnupule *SN1*, mis katkestab käiviti vooluringi. Käiviti ennistub ja lülitab oma peakontaktidega elektrimootori võrgust välja. Söötekopptõstuk seiskub ja teravilja laadimine puhastisse lakkab. Teised masinad jätkavad tööd neis oleva vilja läbilaskmiseks. Seejärel seiskab operaator ka ülejäänud masinad. Kui ühe selle tehnoloogia järgi töötava masina mootor mingil põhjusel seiskub, siis seiskuvad automaatselt ka kõik töötlemisliinil eespool olevate masinate mootorid. Tagapool olevate masinate elektrimootorid pöörlevad edasi, kuni on töödeldud neis masinates leiduv teravili.

Tehnoloogia II. Selle järgi puhastatakse seemnevilja. Sellel töötlemisliinil töötavad kõik masinad. Blokeeringu tagamiseks on vaja ümberlüliti *Ü1* asetada keskasendisse ning sulgeda ümberlülititel *Ü2* ja *Ü3* kontaktid *1* ja *2*. Käivitatakse samas järjestuses nagu I tehnoloogia puhul. Esmalt käivitatakse kopptõstukite *6* ja *7* elektrimootorid, seejärel triööriplokkide *4* ja *5* mootorid. Alles nüüd lülitatakse sisse teraviljapuhastite *2* ja *3* elektrimootorid ning kõige viimasena söötekopptõstuki *1* elektrimootor. Masinad seisatakse vastupidises järjestuses.

Tehnoloogia III. Selle järgi puhastatakse toiduteravilja üheainsa teraviljapuhastiga *2* ja vili laaditakse puhta vilja punkrisse. Tööle on rakendatud masinad *1*, *2*, *6* ja *7*. Blokeeringu tagamiseks tuleb sulgeda ümberlüliti *Ü2* kontakt *3* ja ümberlüliti *Ü3* kontakt *1*. Ümberlüliti *Ü1* seatakse asendisse *1*, millega suletakse vaherelee *VR3* vooluring. Vaherelee rakendub ja blokeerib (katkestab) oma avanevkontaktiga kontaktorite *K4* ja *K5* vooluringid.

Elektrimootorid käivitatakse analoogiliselt eespool kirjeldatuga, s. t. kõigepealt vajutatakse käivitusnuppudele *KN6* ja *KN7*, mis sulevad kontaktorite *K6* ja *K7* vooluringid. Sellega lülitatakse sisse puhastatud teravilja kopptõstuki *6* mootor ja puhastusjäätmete kopptõstuki *7* mootor. Seejärel vajutatakse teraviljapuhasti elektrimootori käivitusnupule *KN2*. Rakendub kontaktor *K2* ja mootor lülitub sisse. Viimasena käivitatakse puhastamata teravilja kopptõstuki *1* mootor.

Masinad seisatakse vastupidises järjestuses.

Tehnoloogia IV seemnevilja puhastamiseks teraviljapuhastis *2*, sorteerimiseks triööriplokis *4* ja laadimiseks puhastatud teravilja punkrisse. Töötlemisliinil töötavad masinad *1*, *2*, *4*, *6* ja *7*. Blokeeringu tagamiseks tuleb seada ümberlüliti *Ü1* keskasendisse ning sulgeda ümberlüliti *Ü2* kontakt *3* ja ümberlüliti *Ü3* kontaktid *2* ja *1*. Elektrimootorite käivitamiseks on vaja järgemisi vajutada käivitusnuppudele kontaktorite *K6*, *K7*, *K4*, *K2* ja *K1* vooluringides. Masinad seisatakse vastupidises järjestuses.

Tehnoloogia V. Selle järgi puhastatakse toiduteravilja teraviljapuhastis *3* ja laaditakse see puhastatud teravilja punkrisse. Töötlemisliinil töötavad sel juhul masinad *1*, *3*, *6* ja *7*. Blokeeringu tagamiseks tuleb sulgeda ümberlüliti *Ü2* kontakt *1* ja ümberlüliti *Ü3* kontakt *3*. Ümberlüliti *Ü1* seatakse asendisse *1*, millega suletakse vaherelee *VR3* mähise vooluring. Vaherelee rakendub ning tema avanevkontaktid blokeerivad kontaktorite *K4* ja *K5* mähiste vooluringid. Elektrimootorite käivitamiseks vajutatakse järgemisi kontaktorite *K6*, *K7*, *K3* ja *K1* vooluringides olevatele käivitusnuppudele. Masinad seisatakse vastupidises järjestuses.

Tehnoloogia VI seemnevilja puhastamiseks teraviljapuhastis *3*, sorteerimiseks triööriplokis *5* ning puhastatud teravilja ja jäätmete laadimiseks punkritesse. Töötlemisliinil töötavad masinad *1*, *3*, *5*, *6* ja *7*. Blokeeringu tagamiseks tuleb seada ümberlüliti *Ü1* keskasendisse ning sulgeda ümber-

lüliti *Ü2* kontaktid *1* ja *2* ning ümberlüliti *Ü3* kontakt *3*. Elektrimootorite käivitamiseks vajutatakse järgemisi kontaktorite *K6*, *K7*, *K5*, *K3* ja *K1* vooluringides olevatele käivitusnuppudele. Masinad seisatakse vastupidises järjestuses.

Masinate juhtimiseks ilma blokeeringuta, mil nad peavad töötama üksteisest sõltumata (häälestamisel, remontimisel jm. sellistel juhtudel), tuleb seada ümberlüliti *Ü1* asendisse *2*. Sellega vaherelee *VR4* mähise vooluring suletakse, relee rakendub ning tema sulguvkontaktid sildavad kontaktorite vooluringides olevad blokeerkontaktid. Nüüd on võimalik mistahes masina elektrimootorit lülitada teistest sõltumata. Näiteks tahetakse blokeerimata olukorras käivitada puhastusmasin *2*. Tarvitseb vaid seada ümberlüliti *Ü1* asendisse *2* ja vajutada kontaktori *K2* vooluringis olevale käivitusnupule *KN2*, ning mootor *2* käivitub. Mootori peatamiseks tuleb vajutada sama käiviti vooluringis olevale seiskamisnupule *SN2*.

Signalisatsiooniahelas olevad signaallambid näitavad, kas masinad seisavad või töötavad.

Joonisel 202 on kujutatud Üleliidulise Põllumajanduse Mehhaniseerimise ja Elektrifitseerimise Teadusliku Uurimise Instituudi (ВНИИМЭСХ) poolt loodud teraviljapuhastuspunkti elektriajamite automaatjuhtimislülituse elektriskeem ja tehnoloogiaskeemid. Skeemil esinevad järgmised tähised:

1 — jäätmete kopptõstuk, *2* — puhastatud teravilja kopptõstuk, *3* — üks teraviljapuhasti ЗВС-10, *4* — teine teraviljapuhasti ЗВС-10, *5* — söötekopptõstuk, *6* — üks triööriplokk БТ-10, *7* — teine triööriplokk БТ-10; *ÜÜ* — universaalne ümberlüliti; *ASN* — avariiseiskamisnupp, mis lülitab korraga välja kõik elektrimootorid; *AÜ* — puhastamata teravilja söötepunkri anduri *SA* ümberlüliti; *PTPA* — puhastatud teravilja punkri täitumise andur; *JPA* — jäätmete punkri täitumise andur; *IIsPA* — II sordi teravilja punkri täitumise andur; *SL1 ... SL7*, *ASL*, *KSL*, *PTPSL*, *JPSL*, *IIsPSL* ja *HSL* — signaallambid; *VR1 ... VR4* — vahereleed; *EM* — söötekopptõstuki siibri elektromagneti mähis; *AR* — aegrelee; *HK1* — kõlisti hoiatussignaali andmiseks.

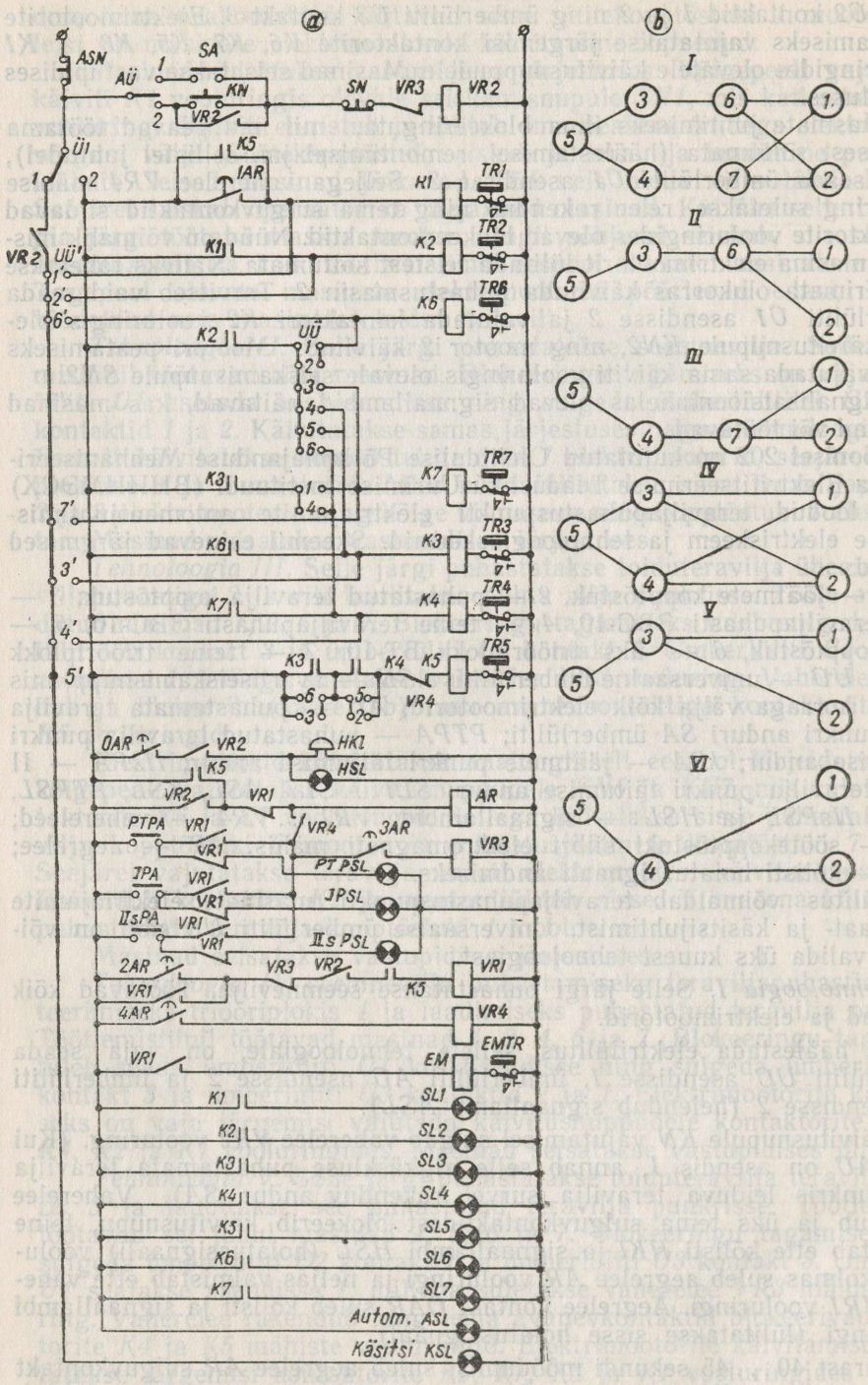
Lülitus võimaldab teraviljapuhastuspunkti masinate elektriajamite automaat- ja käsitsijuhtimist. Universaalse ümberlüliti *ÜÜ* abil on võimalik valida üks kuuest tehnoloogiast.

Tehnoloogia I. Selle järgi puhastatakse seemnevilja. Töötavad kõik masinad ja elektrimootorid.

Et häälestada elektrilülitus sellele tehnoloogiale, on vaja seada ümberlüliti *ÜÜ* asendisse *1*, ümberlüliti *AÜ* asendisse *2* ja ümberlüliti *Ü1* asendisse *2* (helendub signaallamp *ASL*).

Käivitusnupule *KN* vajutamisel sulgub vaherelee *VR2* vooluring. (Kui lüliti *AÜ* on asendis *1*, annab selle algkäskluse puhastamata teravilja söötepunkris leiduva teravilja survel rakenduv andur *SA*). Vaherelee rakendub ja üks tema sulguvkontaktidest blokeerib käivitusnupu, teine valmistab ette kõlisti *HK1* ja signaallambi *HSL* (hoiatussignaali) vooluringi, kolmas suleb aegrelee *AR* vooluringi ja neljas valmistab ette vaherelee *VR1* vooluringi. Aegrelee kontakt *OAR* suleb kõlisti ja signaallambi vooluringi (lülitatakse sisse hoiatussignaal).

Pärast 40 ... 45 sekundi möödumist suleb aegrelee *AR* sulguvkontakt *1AR* kontaktori *K1* mähise vooluringi. Kontaktor rakendub ja lülitab sisse jäätmete kopptõstukit käitava mootori. Seejärel lülituvad automaatselt järgemisi töösse ülejäänud masinad *2*, *6*, *3*, *7*, *4* ja *5*. Kontaktori *K5* rakendumisel blokeerib üks sulguvkontakt aegrelee sulguvkontakti *1AR*, teine aga valmistab ette vaherelee *VR1* vooluringi. Pärast 1,5 ... 2



Joon. 202. Üleliidulise Põllumajanduse Mehhaniseerimise ja Elektrifitseerimise Teadusliku Uurimise Instituudi (ВНИИМЭСХ) teraviljapuhastuspunkti skeemid:

a — juhtimisahel, *b* — tehnoloogiaskeemid; *I* ... *VI* — tehnoloogia järjenumber

minuti möödumist sulgub aegrelee *AR* kontakt *2AR*, mis suleb vaherelee *VR1* mähise vooluringi.

Vaherelee *VR1* rakendub ja tema sulguvkontakt lülitab sisse elektromagneti *EM* mähise. Elektromagnet rakendub ja avab söötekopptõstuki täiteava siibri ning puhastamata teravili kantakse kopptõstukiga teraviljapuhastisse. Samaaegselt avaneb vaherelee *VR1* avanevkontakt aegrelee *AR* vooluringis. Aegrelee ennistub ja katkestab hoiatussignaali. Sellega elektrimootorite käivitamine lõpeb.

Masinate seiskamiseks vajutatakse seiskamisnupule *SN*. Sellega katkestatakse vaherelee *VR2* vooluring. Vaherelee ennistub ja tema sulguvkontakt vaherelee *VR1* vooluringis avaneb. Seetõttu ennistub ka vaherelee *VR1* ja tema sulguvkontakt elektromagneti *EM* vooluringis avaneb. Vaherelee *VR1* avanevkontakt aegrelee vooluringis suleb uuesti aegrelee *AR* mähise vooluringi. Elektromagneti ennistudes söötekopptõstuki siiber sulgub ja vilja juurdevool teraviljapuhastisse katkeb. Üksteise järel sulguvad aegrelee *AR* kontaktid *1AR*, *2AR* ja *3AR*, kuid mingisuguseid muudatusi lülituses nad ei tekita. Masinad töötavad edasi. Alles 4...5 minutit pärast seiskamisnupule vajutamist sulgub aegrelee *AR* kontakt *4AR* vaherelee *VR4* vooluringis. Vaherelee rakendub ja tema avanevkontakt katkestab kontaktori *K5* vooluringi. Kontaktor ennistub ja järgemisi lülituvad välja kõik elektrimootorid.

Mingi masina avariiseiskumisel seiskuvad automaatselt kõik sellest masinast töötlemisliinil eespool olevad masinad ja sulgub täiteava siiber. Tagapool olevad masinad töötavad esialgu edasi ja seiskuvad alles teatud aja möödudes, millest piisab nende tühjendamiseks.

Mingisuguse töötlemissaaduste punkri täitumisel sulgub vastava tasemeanduri kontakt (*PTPA*, *IPA*, *IIsPA*) ja suletakse aegrelee *AR* vooluring. Aegrelee rakendudes sulgub esmalt tema kontakt *0AR* kõlisti *HK1* ja signaallambi *HSL* vooluringis. Alles teatud aja möödudes sulgub kontakt *3AR* vaherelee *VR3* vooluringis. Vaherelee *VR3* rakendub ja tema avanevkontakt avab vaherelee *VR1* vooluringi. Vaherelee *VR1* ennistudes avab tema sulguvkontakti avanemine omakorda elektromagneti *EM* vooluringi. Siiber sulgub ning vilja sissevool masinatesse lakkab. Teatud aja möödudes sulgub aegrelee kontakt *4AR* vaherelee *VR4* vooluringis. Vaherelee *VR4* rakendumisel seiskuvad järgemisi kõik masinad.

Mingile teisele tehnoloogiale vastava blokeeringuga töötamiseks on vaja seada universaalne ümberlüliti nõutud tehnoloogia numbriga ühtivasse asendisse. Näiteks töötlemiseks tehnoloogiaga II (seemnevilja töötlemine teraviljapuhastis *3* ja triööris *6*) on vaja seada ümberlüliti *ÜÜ* asendisse *2*.

Elektrilülitus võimaldab elektrimootorite töötamist ka käsitsi — blokeerimata olukorras. Selleks tuleb seada ümberlüliti *Ü1* asendisse *1* (helendub signaallamp *KSL*), pöörata universaalne ümberlüliti *ÜÜ'* elektrimootori numbrile vastavasse asendisse ning vajutada käivitusnupule *KN*. Mootor pöörleb nupule vajutamise vältel.

§ 2. Liikuvate põllumajandusmasinate elekterkäitus

Liikuvate hulka kuuluvad need põllumajandusmasinad ja -riistad, mis töötamise ajal liiguvad põllul. Elektrifitseeritud liikuvad masinad võivad saada elektrienergiat erisugustest allikatest: akupatareidest või kõrgepinge-elektrivõrgust, samuti alalis- või vahelduvvoolugeneraatorist, mida käitab traktori või põllumajandusmasina sisepõlemismootor.

Käesoleval ajal on olemas kolme liiki elektrifitseeritud põllumajan-

dusmasinaid: trossveo elektrivintsid, elektrifitseeritud liikuvad põllutöömasinad ja mitmesugused elektritraktorid.

Elektrivintse kasutatakse rasketel töödel viinamarjaistandustes, kännujuurimisel, järskudel kallakutel töötamisel, riisipõldudel ja muudel juhtudel, mil on võimalik kasutada paikset veomehhanismi.

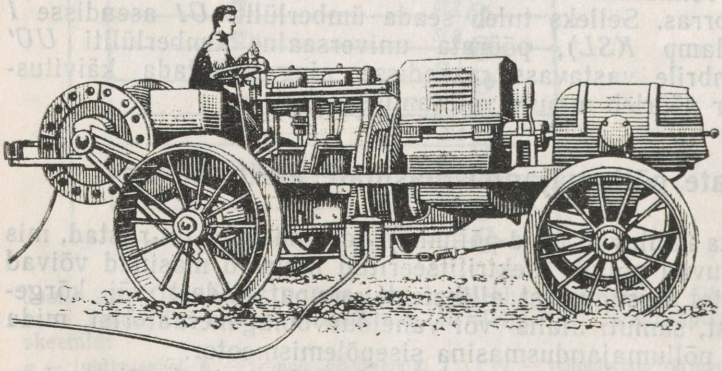
Olemasolevatest elektrivintsidega trossveosüsteemidest on rohkem levinud kahemasinasüsteem. Harvem võib kohata ühemasina- ja ringsüsteemi. Kahemasinasüsteemis moodustavad mõlemad vintsid veovahendi, mille raamile on paigaldatud elektrimootor ja ülekandeseadeldis vintsi edasiliikumiseks. Vintsil on trummel, millele keritakse terastross. Trumli paneb pöörlema sama elektrimootor. Töötamisel paiknevad vintsid põllu vastasservadel ja on ühendatud omavahel terastrossiga, mida vahelduvalt keritakse ühe vintsi trumlilt teise trumlile ja vastupidi. Trossi keskele on kinnitatud kahepoolse toimega kiikader. Trossi vahelduv ümberkerimine paneb adra süstikuliselt liikuma.

Esimesed elekterkünni katsed Nõukogude Liidus sooritati elektrivintsidega 1920. aastal Leningradi lähedal sovhoosis «Srednjaja rogatka».

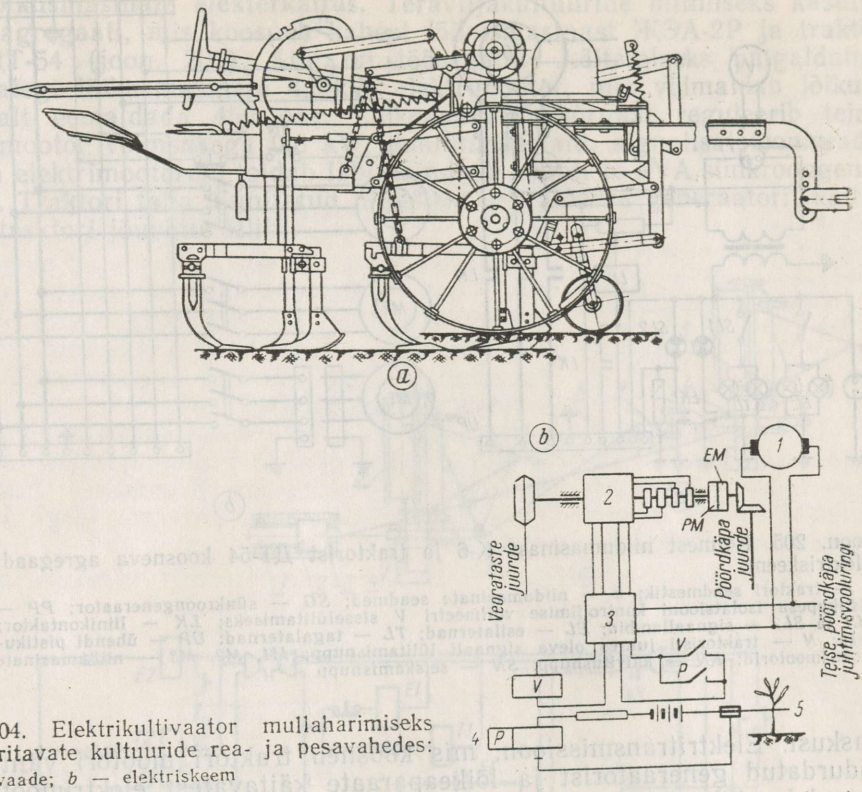
Aastatel 1931 ... 32 ehitati esimene nõukogude kahevintsiline künniagregaat B-1 (joon. 203). Selle vintsi raamil on 75-kW asünkroonmootor, mis suhtelise lülitatuskestuse $ПВ = 40\%$ korral arendab võimsust 90 kW. Elektrimootori võll sidurdatakse hammasülekande kaudu kas trossi veotrumliga või veorataste pooltelgedega. Vintsi trumlilt lahtikeritav tross paindub üle vintsi raami all oleva plokiratta ja suundub põllule risti vintsi pikiteljega. Agregaadil on aparatuur elektrimootori käivitamiseks, seiskamiseks, pöörlemissuuna muutmiseks ja ümberlülitamiseks veorataste käitamiselt vintsi trossitrumli käitamisele. Atra nihutatakse risti eega järgmise vao kündmiseks samaaegselt vintside ümbernihutamisega.

Elektrifitseeritud liikuvad töömasinad. *Elektrikultivaatorid.* Üleliidulises Põllumajanduse Mehhaniseerimise Instituudis (ВИСХОМ) ja Moskva Põllumajandusinseneride Instituudis (МИИСП) on tehtud töid pöördkäppadega kultivaatori (joon. 204) loomiseks, mis võimaldaks vaheltharitavate kultuuride rea- ja pesavahede harimist. Selle kultivaatori elektriskeem on esitatud joonisel 204,*b*.

Kultivaatori liikumisel piki taimeridu puudutab kontakttundel *5* taimi ja suleb polariseeritud relee *4* mähise vooluringi. See relee lülitab sisse vaherelee *3*, mis omakorda suleb elektromagnetilise pöördsiduri *EM* mähise vooluringi. Sidur on ühenduses kultivaatori pöördkäppadega. Kui muhvi mähist läbib vool, pöördub sidur ja kisub edaga kaasa ka käpad, mis alustavad mullaharimist reavahedes. Kui sidur on teinud täispöörde,



Joon. 203. Elekterkünni vints B-1



Joon. 204. Elektrikultivaator mullaharimiseks vahelthariatavate kultuuride rea- ja pesavahedes: *a* — üldvaade; *b* — elektriskeem

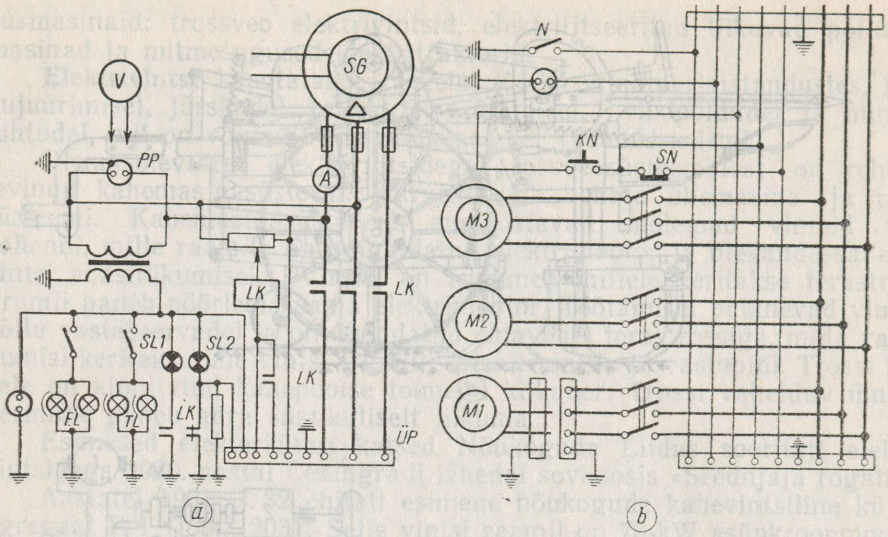
katkestab elektromagnetilise ümberlülitamisseadise *2* nukkvõllile paigutatud mehaaniline katkesti vaherelee *3* mähise vooluringi. Vaherelee katkestab omakorda pöördsiduri mähise vooluringi ja suleb pidurdussiduri *PM* mähise vooluringi. Sidur pöördub ja veab endaga kaasa ka kultivaatori pöördkäppa. Nüüd jookseb käpp mööda reavahet ega riiva taimi, kuni tundel järgmist taime puudutab.

Kontakttundla vooluringi toiteallikaks on kuivpatarei mahutavusega 4,7 kC.[1] Kahte elektromagnetilist ümberlülitamisseadist ja kahte vahereleed toidetakse traktori 12-V alalisvoolugeneraatorist *1*. Pöördkäppasid käitatakse kultivaatori veoratastega, elektromagnetiline ümberlülitamisseadis on aga ainult vahelüliks veoratta ja käpa vahel.

Kultivaatori elektriliste juhtimisseadmete kokkulülitamisel traktori generaatoriga lülitub sisse jõuvõtuvõlliga ülekandeseadeldise kaudu ühendatud elektromagnetiline lülitamissidur, mis lülitab tööorganid (ühepoolsed käpad) sisse reas paiknevate taimepuhmaste vahekohtades. Käpad hoitakse tööasendis elektromehaanilise pidurdussiduriga. Kui signaalhoob puudutab kõrendikku või reaposti, siis selle hoova kontakt avaneb ja süsteem jääb vooluta. Nüüd lülituvad elektriliselt juhitavad sidurid välja ning mulla reaktsioonjõu ja pinguldusvedrude toimel lülitub tööorgan tööasendist välja. Kui signaalhoob libiseb takistuse tagant ära, siis tema kontakt taassulgub, elektriline lülitus hakkab tööle ja tööorgan viiakse uuesti taimepuhmaste vahekohta.

Niidumasinate elekterkäitus. Elekterkäituse puhul võib traktoriagregaati kuuluda mitu niidumasinat. Mehaanilise käituse korral tekib energia ülekandmisel teise ja kolmanda niidumasina lõikeaparaadile tõsiseid

[1] 1 kC = 0,278 A · h. *Tõlk.*



Joon. 205. Kolmest niidumasinast K-6 ja traktorist ДТ-54 koosneva agregaadi elektriskeem:

a — traktori seadmestik; *b* — niidumasinate seadmed; *SG* — sünkroongeneraator; *PP* — pistikupesa isolatsiooni kontrollimise voltmeetri *V* sisselülitamiseks; *LK* — liinikontaktor; *SL1* ja *SL2* — signaallambid; *EL* — esilaternad; *TL* — tagalaternad; *ÜP* — ühendi pistikupesa; *N* — traktoristi juures oleva signaali lülitamisnupp; *M1*, *M2*, *M3* — niidumasinate elektrimootorid; *KN* — käivitusnupp; *SN* — seiskamisnupp

raskusi. Elektritransmissioon, mis koosneb traktori mootori väntvõlliga sidurdatud generaatorist ja lõikeaparaate käitavatest elektrimootoritest, asendab niidumasina mehaanilise transmissiooni. Niidumasin lihtsustub 25 võlli, 15 liigendühenduse, kahe kettülekande ning 17 silinder- ja koonushammasratta võrra. Mehaaniline transmissioon vajab pärast 1000 ... 1500 töötundi keskmist remonti, elektritransmissioon aga töötab remontimata mitukümmend tuhat töötundi. Lõikeaparaadi poolt tekitatav vahelduva suunaga koormus on mehaanilisele transmissioonile väga ebasoodus, vikati elektromagnetiline sidurdus raamiga elektrimootori kaudu tagab aga niidumasina palju sujuvama ja traktori palju ühtlasema töö.

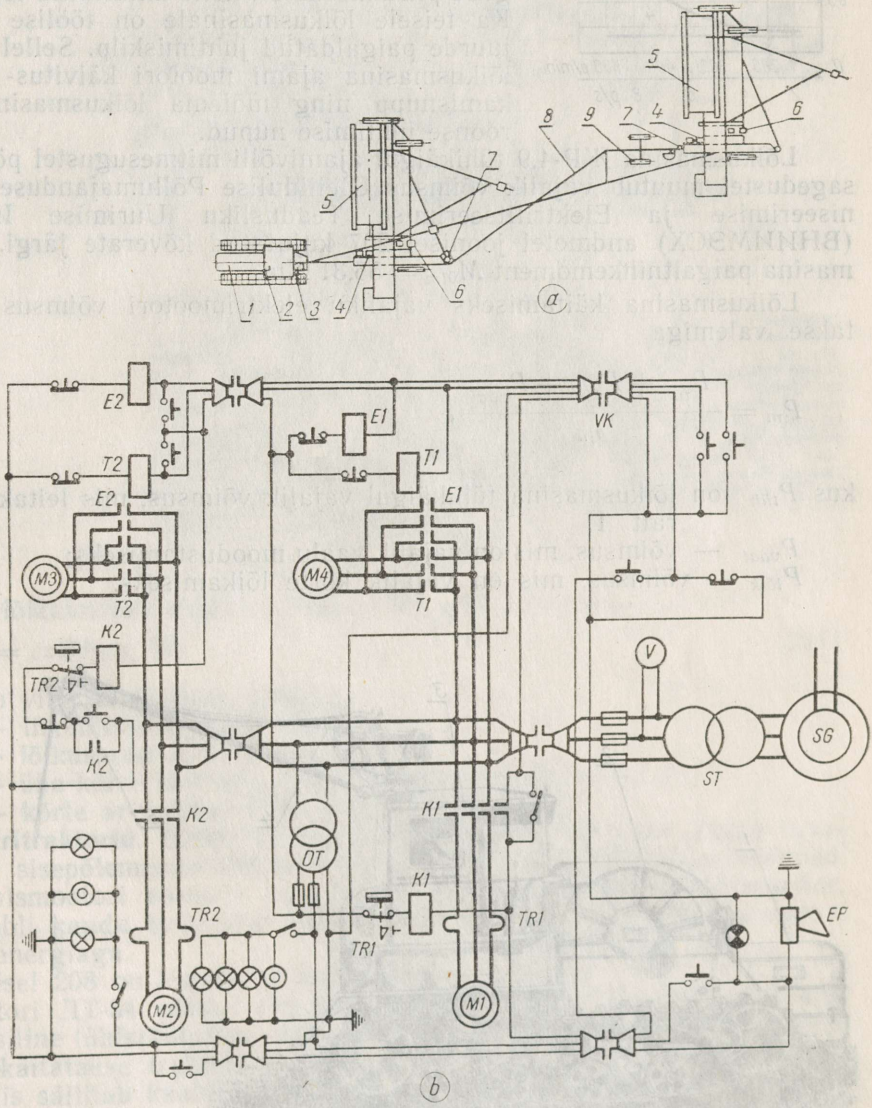
Et vikat liiguks edasi-tagasi, rakendatakse nüüdisaegsetes niidumasinates pöörlemissagedusi kuni 13,3 p/s (800 p/min), mis võimaldab kasutada kiirekäigulisi asünkroonmootoreid.

Joonisel 205 on esitatud kolmest niidumasinast K-6 ja traktorist ДТ-54 koosneva agregaadi skeem. Ühesuguse ehitusega elektrifitseeritud ja tavaliste poolrippniidumasinate uurimine tõendab elektrifitseeritud niidumasinate eeliseid (tab. 20).

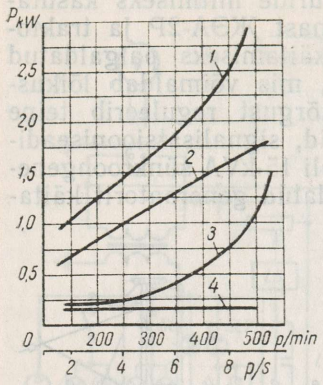
Tabel 20

	Tavaline niidumasin	Elektrifitseeritud niidumasin
Niidetud heinamaa pindala ha	506	558
10 tunni keskmine tootlikkus ha	62	77
Kütusekulu kg hektari kohta	2208	1850
Mass kg haardelaiuse 1 m kohta	157	132
Töökindlustegur	0,6	0,94

Lõikusmasinate elekterkäitus. Teraviljakultuuride niitmiseks kasutatakse agregaati, mis koosneb kahest lõikusmasinast ЖЭА-2P ja traktorist ДТ-54 (joon. 206). Siin on tööorganite käitamiseks paigaldatud kummalegi lõikusmasinale 4,5-kW elektrimootor, mis võimaldab lõikusmasinalt eemaldada 450 osa. Lõikeaparaadi kõrgust reguleerib teine elektrimootor võimsusega 0,6 kW. Juhtimisahelaid, signalisatsiooniseadiseid ja elektrimootoreid toidab läbi painduva kaabli 15-kVA sünkroongeneraator. Traktori taha kinnitatud nõjastele paigaldatud generaatorit käitatakse traktori jõuvõtuvõllilt.



Joon. 206. Elektrifitseeritud lõikusmasin ЖЭА-2P:
a — kinemaatikaskeem; *b* — elektriskeem; *1* — traktor ДТ-54; *2* — traktori juhtimiskilp; *3* — generaator; *4* — lõikeaparaatide kõrgust reguleeriv elektriajam; *5* — ribaslõikusmasin; *6* — lõikeaparaatide elektriajam; *7* — lõikusmasina juhtimiskilp; *8* — ühenduslüli; *9* — lõikusmasina eelik; *E1, E2, T1, T2, K1, K2* — kontaktorite mähised ja kontaktid; *N* — nupplüliti; *SG* — sünkroongeneraator; *ST* — stabiliseerimistrafo; *EP* — elektripasun; *VK* — voolikkaabel; *M1* ja *M2* — lõikeaparaatide ajamite elektrimootorid; *M3* ja *M4* — lõikeaparaatide kõrgust reguleerivate ajamite elektrimootorid; *OT* — omatarbetrafo



Joon. 207. Lõikusmasina ЖР-4,9 tühikäigul vajalik võimsus:
1 — kõigi mehhanismide käitamiseks; *2* — transportööri käitamiseks; *3* — lõikeaparaadi käitamiseks; *4* — haspli käitamiseks

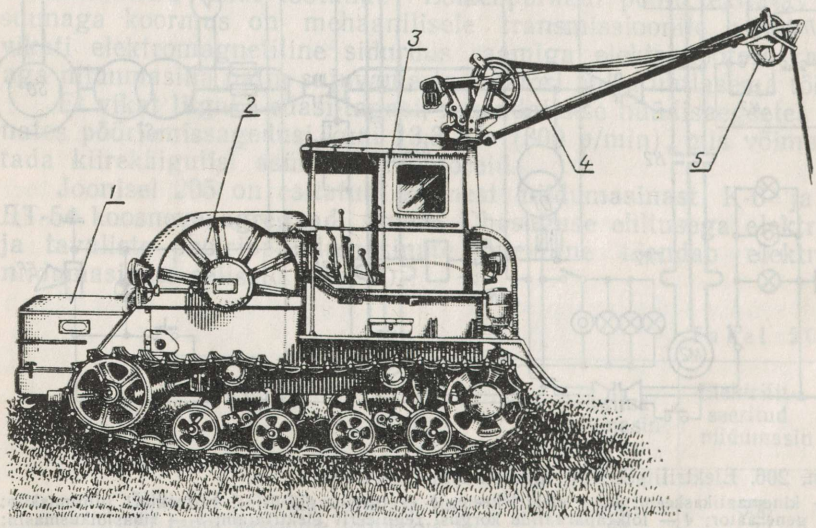
Traktori kabiinis oleval juhtimiskilbil paiknevad esimese lõikusmasina mootori käivitus- ja seiskamisnupp ja mõlema lõikusmasina sünkroonse juhtimise nupud, et lõikeaparaatide kõrgus oleks ühesugune. Lõikeaparaatide kõrguse piiramiseks on neile kinnitatud lõpplülitid. Ka teisele lõikusmasinale on töölise istekoha juurde paigaldatud juhtimiskilp. Sellel on teise lõikusmasina ajami mootori käivitus- ja seiskamisnupp ning mõlema lõikusmasina sünkroonse juhtimise nupud.

Lõikusmasina ЖР-4,9 tühikäigul ajamivõlli mitmesugustel pöörlemissagedustel muutub vajalik võimsus Üleliidulise Põllumajanduse Mehhaniseerimise ja Elektrifitseerimise Teadusliku Uurimise Instituudi (ВНИИМЭСХ) andmetel joonisel 207 kujutatud kõverate järgi. Lõikusmasina paigaltnihkemoment $M_{olm} = 55{,}31$ Nm.

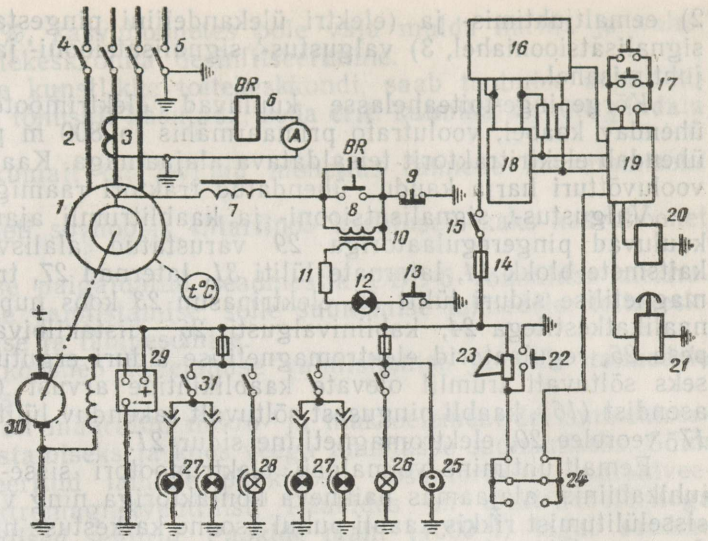
Lõikusmasina käitamiseks vajaliku elektrimootori võimsus arvutatakse valemiga

$$P_m = \frac{P_{tüh} + P_{lõik} + P_{vaal}}{\eta ü}, \qquad (393)$$

kus $P_{tüh}$ on lõikusmasina tühikäigul vajalik võimsus, mis leitakse kõveralt 1;
P_{vaal} — võimsus, mis on vajalik vaalu moodustamiseks;
$P_{lõik}$ — võimsus, mis on vajalik kõrte lõikamiseks.



Joon. 208. Elektritraktori üldvaade:
1 — elektritraktori kapott; *2* — kaablitrummel; *3* — juhikabiin; *4* — toitekaabel; *5* — kaablinool



Joon. 209. Elektritraktori elektriskeem:

1 — elektrimootor; *2* — kaabel; *3* — voolutrafo; *4* — vooluvõttur; *5* — kaabli maandussoon; *6* — blokeerrelee; *7* — paispool; *8* — käivitusnupp; *9* — seiskamisnupp; *10* — signalisatsiooni trafo; *11* — takisti; *12* — signaallamp; *13* — signaallambi lülitamisnupp; *14* — kaitsmete blokk; *15* — trumli ajami elektromagnetilise siduri lüliti; *16* — regulaator elektromagnetilise siduri ergutusvoolu reguleerimiseks sõltuvalt kaablinoole asendist; *17* — pingulduslüliti; *18* — kaabli pingusest sõltuvalt rakenduv lüliti; *19* — regulaator elektromagnetilise siduri ergutusvoolu reguleerimiseks sõltuvalt trumlil olevate kaablikihtide arvust; *20* — veorelee; *21* — elektromagnetiline sidur; *22* — nupplüliti; *23* — elektripasun; *24* — signaalikatkesti; *25* — pistikupesa; *26* — kabiinivalgusti; *27* — laternad; *28* — riistakilbivalgusti; *29* — pingeregulaator; *30* — alalisvoolugeneraator; *31* — laternate lüliti

Kõrte lõikamiseks vajalik võimsus leitakse valemiga

$$P_{lõik} = cvBP_1m \text{ W}, \tag{394}$$

kus c on vilja umbrohtumistegur;

v — liikumiskiirus m/s;

B — lõikusmasina haardelaius m;

P_1 — ühe kõrre läbilõikamiseks kuluv töö J ($P_1 = 0{,}3$ J);

m — kõrte arv põllul 1 m² kohta.

Elektritraktorid. Elektritraktorite konstrueerimisel kasutatakse tavaliselt ära sisepõlemismootoriga traktori käiguosa ja jõuülekandesõlmed. Sisepõlemismootori asemele paigaldatakse kolmefaasiline elektrimootor, mida kaabli kaudu toidetakse elektrivõrguga ühendatud trafoalajaamast saadava energiaga.

Joonisel 208 on kujutatud elektritraktori üldvaade.

Traktori ДТ-54 põhjal ehitatud elektritraktoril ХТЗ-15А on 44-kW kolmefaasiline lühisrootoriga asünkroonmootor nimipingele 1150 V. Kaablitrumlit käitatakse traktori jõuvõllilt elektromagnetilise asünkroonsiduri kaudu, mis säilitab kaabli pinguse piirides 400 ... 1300 N. Kaabli ühesuguse pinguse peale- ja mahakerimisel tagab elektromagnetilise siduri ergutusvoolu automaatne reguleerimine sõltuvalt trumlil oleva kaablikihi raadiusest ja kaabli pingusest.

Elektromagnetiline sidur, valgustusseadmed ja signalisatsiooniseadmed toituvad alalisvoolugeneraatorist pingega 13,5 V. Elektritraktori elektrilülitus (joon. 209) koosneb kolmest ahelast: 1) kõrgepinge-toiteahel,

2) eemaltjuhtimis- ja (elektri ülekandeliini pingestatuse kontrollimise) signalisatsiooniahel, 3) valgustus-, signalisatsiooni- ja kaablitrumli ajami juhtimisahel.

Kõrgepinge-toiteahelasse kuuluvad elektrimootorit vooluvõtturiga ühendav kaabel, voolutrafo primaarmähis ja 800 m pikkune kaabel, mis ühendab elektritraktorit teisaldatava alajaamaga. Kaabli maandussoon on vooluvõtturi harja kaudu ühendatud traktori raamiga.

Valgustus-, signalisatsiooni- ja kaablitrumli ajami juhtimisahelasse kuuluvad pingeregulaatoriga *29* varustatud alalisvoolugeneraator *30*, kaitsmete blokk *14*, laternate lüliti *31*, laternad *27*, trumli ajami elektromagnetilise siduri lüliti *15*, elektripasun *23* koos nupplülitiga *22* ja signaalikatkestitega *24*, kabiinivalgusti *26*, riistakilbivalgusti *28*, pistikupesa *25*, regulaatorid elektromagnetilise siduri ergutusvoolu reguleerimiseks sõltuvalt trumlil olevate kaablikihtide arvust (*19*) ja kaablinoole asendist (*16*), kaabli pingusest sõltuvalt rakenduv lüliti *18*, pinguduslüliti *17*, veorelee *20*, elektromagnetiline sidur *21*.

Eemaltjuhtimine võimaldab elektrimootori sisse- ja väljalülitamist juhikabiinist alajaamas paikneva kontaktoriga ning väldib elektrimootori sisselülitumist rikkis kaabli puhul (soone katkestuse ning voolu- ja maandussoone lühise korral), samuti avatud käivitusnupu puhul. Eemaltjuhtimisahelasse kuuluvatest seadistest paiknevad traktoril käivitusnupp *8*, seiskamisnupp *9*, blokeerrelee *6*, paispool *7*, elektrimootori *1* staatorimähis, samuti signaalseadised elektriülekandeliini pingestatuse kontrollimiseks (signalisatsioonitrafo *10* koos takistiga *11*, signaallamp *12* koos lülitamisnupuga *13*). Teised eemaltjuhtimisahelasse kuuluvad seadised paiknevad alajaamas.

Elektritraktoril ja alajaamas paiknevate eemaltjuhtimisahelasse kuuluvate lülitusseadiste vaheliseks pärijuhtmeks on kolm kaablisoont, tagasijuhtmeks aga maandussoon. Elektritraktoril lõpeb juhtimisahela pärijuhe veoelektrimootori staatorimähise tähtlülituse nullpunktiga, mille külge on ühendatud paispool ning käivitus- ja seiskamisnupp.

Käivitusnupule vajutamisel kujuneb pingeresonantsil põhinevas eemaltjuhtimisahelas suletud vooluring läbi seiskamis- ja käivitusnupu, paispooli, staatori nullpunkti ning kaabli kolme soone. Juhtimisrelee rakendub ja lülitab sisse kontaktori, mis omakorda lülitab sisse elektrimootori. Käivitusvoolu mõjul rakendub blokeerrelee *6* ja tema sulguvkontakt sildab käivitusnupu. Seiskamisnupule vajutamisega ahel katkestatakse.

Alajaamas on liinivooluvõttur elektriliiniga kokkulülitamiseks, trafo liinipinge (6 . . . 10 kV) madaldamiseks elektritraktori pingele (1300 V), kontaktor elektritraktori mootori sisse- ja väljalülitamiseks ning poolühend elektritraktori toitekaabli külgelülitamiseks.

§ 3. Tööde elektrifitseerimine köögivilja kasvatamisel toitelahustes

Nõukogude Liidus ja välismaal on viimastel aastatel hakatud laialdaselt rakendama uut menetlust — köögiviljakasvatust kunstlikes mineraalsetes toitelahustes. Istikud istutatakse veetihedatesse mahutitesse (betoonist kanalitesse või lavatitesse), mis on täidetud mineraalainega (liiva, räbu, kruusa, kivipuruga) ja kuhu taimede juurestikule suunatakse valmis toitelahus.

Taimede kasvatamisel tehiskeskkonnas suureneb saak tunduvalt. Kasuliku pindala 1 m^2 kohta saadakse näiteks kuni 90 kg tomateid ja 60 kg kurke. Lisaks sellele lüheneb kasvuaeg, taimede hooldamise kulud

vähenevad 25 ... 30%, kasvuhoonetes pole vaja mulda harida ja vahetada, lihtsustub toitekeskkonna desinfitseerimine.

Kui kasutatakse kunstlikke toitekeskkondi, saab tootmise automatiseerimise vahendeid tõhusalt kasutada, seda eriti katmikala suure pindala korral.

Kõige ulatuslikumalt on levinud menetlus taimede kasvatamiseks kruusas.

Aastal 1963 võeti sovhoosis «Marfino» kasutusele kaks kasvuhoonet pindalaga 600 m².

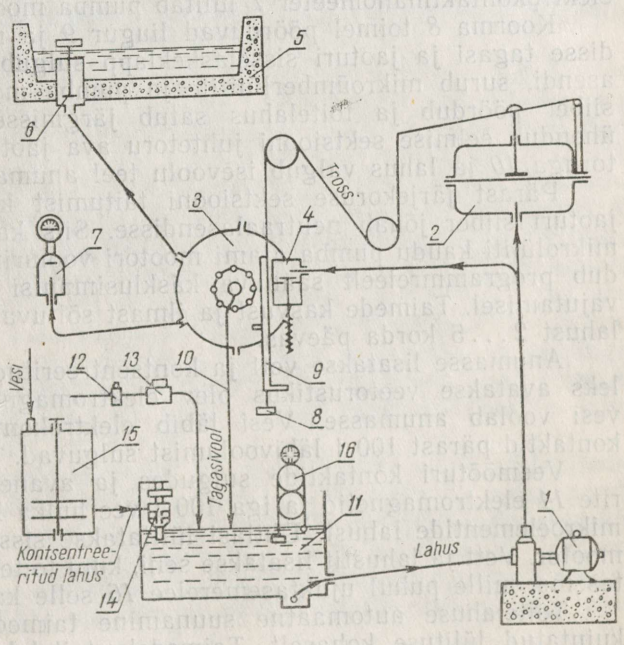
Kasvuhoonetesse paigaldatud seadmestik ОБВ-6 võimaldas mehhaniseerida toitelahuse valmistamise, selle suunamise taimedele, toitekeskkonna steriliseerimise ja läbipesemise.

Seade ОБВ-6 koosneb toitelahuse valmistamise ja selle taimedele suunamise sõlmedest.

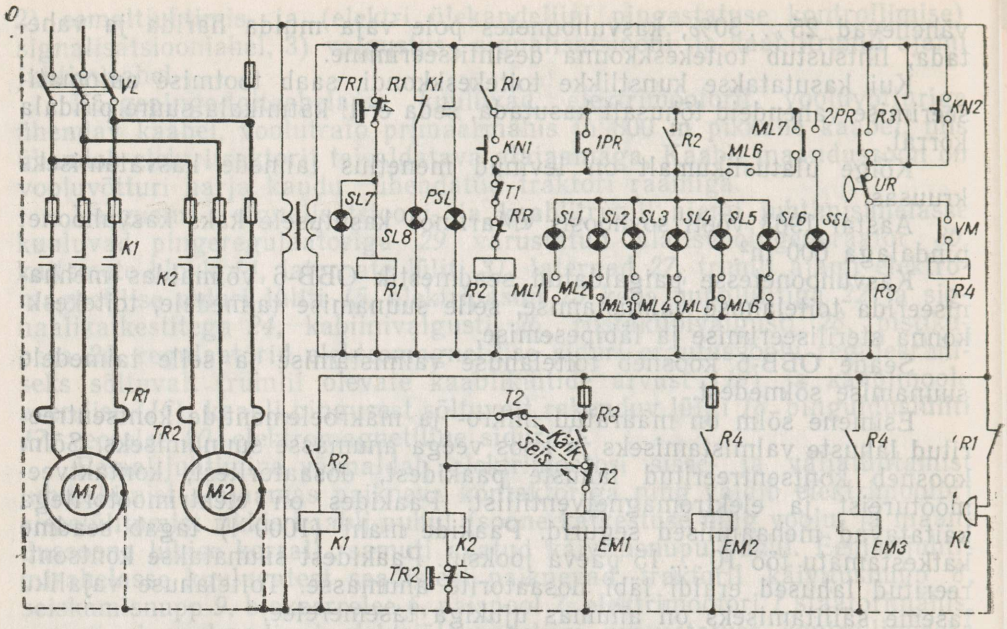
Esimene sõlm on määratud mikro- ja makroelementide kontsentreeritud lahuste valmistamiseks ja koos veega anumasse suunamiseks. Sõlm koosneb kontsentreeritud lahuste paakidest, dosaatoritest, kontaktveemõõtureist ja elektromagnetventiilist. Paakides on elektrimootoritega käitatavad mehaanilised segurid. Paakide maht (1000 l) tagab seadme katkestamatu töö 10 ... 15 päeva jooksul. Paakidest suunatakse kontsentreeritud lahused eraldi läbi dosaatorite anumasse. Toitelahuse vajaliku taseme säilitamiseks on anumas ujukiga tasemerelee.

Teine sõlm, mille abil suunatakse toitelahus taimedele, koosneb jaoturist, lavatites paiknevatest sulgklappidest, rõhureleest ja pumbast.

Toitelahuse suunamine lavatitesse ja selle tagasivool anumasse toimub järgmiselt. Pumba *1* (joon. 210) sisselülitamisel pöörab membraansilinder *2* liuguri *9* abil jaoturi *3* siibrit ja avab sisselaskeklapi *4* kaudu lahusele juurdepääsu jaoturisse. Siit satub lahus läbi siibris oleva ava



Joon. 210. Toitelahuse valmistamise ja lavatitesse suunamise tehnoloogia skeem



Joon. 211. Toitelahuse valmistamise ja taimedele andmise seadme elektrilülituse põhimõtteskeem

juhtetorusse ja sulgklapi *6* kaudu täidab esimese sektsiooni *5*. Kui lahuse tase on tõusnud teatud kõrgusele, suleb ujuki vardaga ühendatud klapp sissevooluava, katkestades lahuse juurdevoolu sektsiooni. Sulgklapi sulgumise järel hakkab rõhk juhtetorus kasvama ja rõhureleena toimiv elektrokontaktmanomeeter *7* lülitab pumba mootori välja.

Koorma *8* toimel pöörduvad liugur *9* ja membraansilinder algasendisse tagasi ja jaoturi sisselaskeklapp sulgub. Liugur, saavutanud algasendi, surub mikroümberlülitile ja pumba mootor taaskäivitub. Jaoturi siiber pöördub ja toitelahus satub järgmisse sektsiooni. Samaaegselt ühendub eelmise sektsiooni juhtetoru ava jaoturi siibri kaudu äravoolutoruga *10* ja lahus valgub isevoolu teel anumasse *11* tagasi.

Pärast järjekordse sektsiooni täitumist kordub toiming seni, kuni jaoturi siiber jõuab neutraalasendisse. Siis katkestab sõrmtrumli vedru mikrolüliti kaudu pumba ajami mootori vooluringi. Järgmine tsükkel kordub programmreleelt saabuva käsklusimpulsi mõjul või käivitusnupule vajutamisel. Taimede kasvust ja ilmast sõltuvalt antakse taimedele toitelahust 2...5 korda päevas.

Anumasse lisatakse vett ja kontsentreeritud lahust kord päevas. Selleks avatakse veetorustikus olev elektromagnetventiil *12*, mille kaudu vesi voolab anumasse. Vesi läbib elektrokontakt-veemõõturi *13*, mille kontaktid pärast 100 l läbivoolamist sulguvad.

Veemõõturi kontaktide sulgudes ja avanedes rakenduvad dosaatorite *14* elektromagnetid ja iga 100 l vee hulka lisatakse annus makro- ja mikroelementide lahust. Ühtlasi lülitatakse sisse paagis *15* oleva segisti mootor. Vett ja lahustit lisatakse seni, kuni toitelahus saavutab normaalse taseme, mille puhul ujuktasemerelee *16* selle katkestab.

Toitelahuse automaatne suunamine taimedele toimub joonisel 211 kujutatud lülituse kohaselt. Taimedele toitelahust suunava pumba töötamise aeg määratakse programmreleega. Kontaktide *1PR* sulgumisega

suletakse relee *R2* mähise vooluring. Relee rakendub ning suleb oma sulguvkontaktiga kontaktori *K1* vooluringi ja blokeerib kontakti *1PR*. Kontaktori peakontaktid lülitavad sisse pumba elektrimootori, blokeerkontakt aga suleb signaallambi *PSL* (pumba) vooluringi. Lahus satub membraansilindrisse, mis liuguri ja põrklingi abil pöörab jaoturi siibrit.

Liuguri liikudes avaneb mikroümberlüliti sulguvkontakt *ML6*, sõrmtrumli nukk aga vabastab mikrolüliti *ML7* lülitamisnupu, mistõttu selle avanevkontakt sulgub ja sulguvkontakt avaneb, avades signaallambi *SSL* vooluringi. Siibri peatumisel esimeses asendis surub sõrmtrumli nukk mikroümberlüliti *ML1* lülitamisnupule ja mikroümberlüliti suleb signaallambi *SL1* vooluringi.

Lahus voolab esimesse sektsiooni. Selle täitudes ettenähtud tasemeni katkestab juhtetoru lõpus olev sulgklapp lahuse juurdevoolu sektsiooni, mistõttu rõhk juhtetorus tõuseb ja elektrokontaktmanomeetri (rõhurelee) avanevkontakt *RR* relee *R2* mähise vooluringis avaneb. Relee *R2* jääb vooluta ja tema sulguvkontakt kontaktori *K1* mähise vooluringis avaneb. Samal ajal liigub jaoturi liugur koorma toimel lähteasendisse tagasi ja surub mikroümberlüliti *ML6* lülitamisnupule. Mikroümberlüliti suleb uuesti relee *R2* mähise vooluringi. Pumba ajami elektrimootor käivitub uuesti, membraansilinder nihutab jaoturi siibri esimesest asendist teise ja lahus hakkab voolama teise sektsiooni. Trumli nukk lülitab mikroümberlüliti *ML2* kaudu sisse signaallambi *SL2*.

Toitelahuse suunamine järgemisi igasse sektsiooni kestab seni, kuni jaoturi siiber jõuab neutraalasendisse. Siis avab sõrmtrummel oma nukiga mikrolüliti *ML7* avanevkontakti ja suleb sulguvkontakti (helendub signaallamp *SSL*), elektrokontaktmanomeeter aga avab relee *R2* mähise vooluringi. Relee *R2* ennistub ning tema sulguvkontakt kontaktori *K1* mähise vooluringis ja sulguvkontakt, mis sildas programmanduri kontakti *1PR*, avaneb. Nüüd katkeb ka pumba elektrimootori toitering ja toitelahuse suunamine taimedele lakkab. Toitelahuse suunamine taimedele algab uuesti programmrelee kontakti *1PR* järjekordsel sulgumisel.

Pumba elektrimootori käsitsi sisselülitamiseks vajutatakse käivitusnupule *KN1*. Pump seisatakse tumbleriga *T1*.

Ka toitelahuse valmistamine ja anumasse suunamine toimub automaatselt. Selleks seatakse programmreleel toitelahuse lisandamise aeg, mis ei tohi ühtida toitelahuse taimedele suunamise ajaga. Toitelahust tuleb lisada siis, kui see on kõigist sektsioonidest valgunud tagasi anumasse. Kontakti *2PR* sulgudes läbib relee *R3* mähist vool läbi ujuktasemerelee kontakti *UR*. Relee *R3* sulguvkontaktidega sulguvad kontaktori *K2* mähise vooluring ja elektromagnetventiili *EM1* vooluring ning sillatakse programmrelee kontakt *2PR*. Lülitatakse sisse paakide segistite mootor *M2* ja elektromagnetventiil, mis avab vee sissevoolu veetorustikust anumasse läbi elektrokontakt-veemõõturi. Veemõõturi väljevõllil paiknev hammasketas suleb ja avab kontakti *VM* relee *R4* mähise vooluringis. Dosaatorite elektromagnetite *EM2* ja *EM3* vooluringid sulguvad relee *R4* sulguvkontaktidega ning vesi ja mikro- ning makroelementide lahus voolab perioodiliselt anumasse.

Anumasse voolab toitelahust juurde seni, kuni avaneb ujuktasemerelee kontakt *UR*. Kontsentreeritud lahuste valmistamise ning nende, samuti vee anumasse suunamise sõlme sisselülitamiseks vajutatakse käivitusnupule *KN2*. Sõlm lülitub välja ujuktasemerelee kontakti *UR* avanedes. Paakide segistite elektrimootori *M2* sisselülitamiseks tuleb pöörata tumbler *T2* (segistite lüliti) asendisse «*käik*», väljalülitamiseks aga asendisse «*seis*».

XII PEATÜKK

ELEKTERKÄITUS REMONDITÖÖKODADES JA ABIKÄITISTES

§ 1. Tööpinkide elekterkäitus

Kolhooside ja sovhooside remonditöökojad on vajalikud traktorite, põllutöömasinate, autode ja ka elektriseadmete remontimiseks.

Käesolevas osas käsitletakse kolhooside ja sovhooside remonditöökodades kõige sagedamini esinevate tööpinkide elektriseadmeid.

Universaaltreipingi 1A62 elektriseadmestikku kuuluvad: peaajami elektrimootor *M1*, mille võimsus on 7 kW ja pöörlemissagedus 24,0 p/s (1440 p/min); pumbaajami elektrimootor *M2*, mille võimsus on 0,125 kW ja pöörlemissagedus 46,6 p/s (2800 p/min); pakettlülitid *PL1* ja *PL2* peaajami ja pumba elektrimootorite juhtimiseks; kohavalgustuse pakettlüliti *PL3*; kaitsmed, toitevooluring ja juhtimisahel; pingemadaldustrafo *Tr* kohavalgustuslambi *L* toitmiseks; magnetkäiviti; pingil paiknevad juhtimisnupud ja kohavalgusti.

Treipingi elektrimootorite ja kohavalgustuse juhtimislülituse põhimõtteskeem on esitatud joonisel 212. Lühiste eest kaitstakse sulavkaitsmetega *SK*, kestva liigkoormuse eest aga termoreleedega *TR1* ja *TR2*; nullkaitsmeks on magnetkontaktor.

Peaajami elektrimootori käivitamiseks vajutatakse nupule *KN*. Sellega sulgub kontaktori *K* mähise vooluring. Kontaktor rakendub ning tema peakontaktid lülitavad mootori võrku, blokeerkontakt aga sildab käivitusnupu.

Pumbaajami mootor käivitatakse pakettlülitiga *PL2*. Pea- ja pumbaajami mootor seisatakse nupule *SN* vajutamisega.

Kohavalgustus lülitatakse sisse ja välja pakettlülitiga *PL3*.

Universaaltreipingi ДИП-500 juhtimislülitus on kujutatud joonisel 213.

Pingil on viis elektrimootorit. Elektrimootor *M1* käitab spindlit, elektrimootor *M2* — õlipumpa, elektrimootor *M3* — jahutusemulsiooni pumpa; elektrimootorid *M4* ja *M5* on treipingi suportide kiireks nihutamiseks.

Treipingi elektrimootoreid lülitatakse pingil paiknevate nupplülititega. Treipingil on kohavalgusti, õlitussüsteemi kontrollimise signaallambid *SL1* ja *SL2*, sireen *S* ja suportide kiirendatud liikumist piiravad lõpplülitid *LL1* ja *LL2*.

Enne spindli elektrimootori käivitamist tuleb käivitusnupule *KNÕ* vajutamisega sulgeda kontaktori *KÕ* mähise vooluring, mille tulemusena käivitub õlipumba ajami mootor. Kui pingi õlitussüsteem töötab normaalselt, on elavhõbekontakt *EK* suletud ja vaherelee *VR* mähist läbib vool, vaherelee rakendub ja tema sulguvkontakti kaudu valmistub ette kontak-

tori *KS* mähise vooluring. Vaherelee teised kontaktid lülitavad ümber aegrelee *AR* mähise ning signaallampide *SL1* ja *SL5* vooluringe.

Spindli ajami elektrimootori käivitamiseks vajutatakse käivitusnupule *KNS*, millega kontaktori *KS* mähise vooluring sulgub.

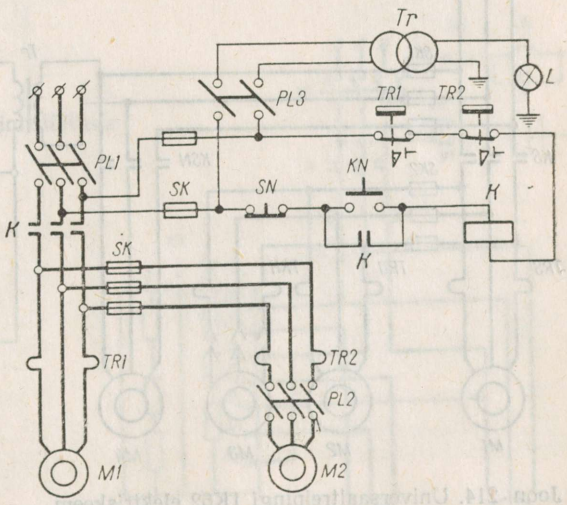
Jahutuspumba ajami elektrimootori käivitamiseks vajutatakse kontaktori *KJ* mähise vooluringis olevale käivitusnupule *KNJ*. Kontaktori *KJ* mähise vooluring sulgub nüüd ja mootor käivitub. Spindli ajami elektrimootori seiskamiseks vajutatakse kontaktori *KS* mähise vooluringis olevale seiskamisnupule *SNS*. Kontaktori *KÕ* mähise vooluringis olevale seiskamisnupule *SNÕ* vajutamisel seiskub õlipumba ajami elektrimootor ning avaneb kontaktori *KÕ* ja vaherelee *VR* mähise vooluring, vaherelee *VR* sulguvkontakt kontaktori *KS* mähise vooluringis aga avaneb ja avab kontaktori *KS* mähise vooluringi, mistõttu spindli ajami elektrimootor lülitub võrgust välja. Niisiis, seiskuvad kontaktori *KÕ* mähise vooluringis olevale seiskamisnupule *SNÕ* vajutamisel nii õlipumba ajami kui ka spindli ajami elektrimootor.

Spindli ajami elektrimootor seiskub rikke korral — õlituse lakkamisel (rõhu alanemisel õlitussüsteemis) — automaatselt. Sel juhul avaneb kontakt *EK* ja lülitub välja vaherelee *VR*. Viimase avanevkontakti taassulgudes aga sulgub aegrelee mootori mähise vooluring, teise avanevkontakti sulgudes aga sulguvad signaallambi *SL2* ja sireeni *S* vooluring. Lambi *SL2* ja sireeni *S* hoiatussignaali puhul tuleb rakendada abinõud õlitussüsteemis esinevate häirete kõrvaldamiseks, teatud aja möödumisel aga (sõltuvalt aegrelee häälestusest) katkestab aegrelee *AR* avanevkontakt kontaktori *KS* mähise vooluringi ja spindli ajami mootor lülitub võrgust välja.

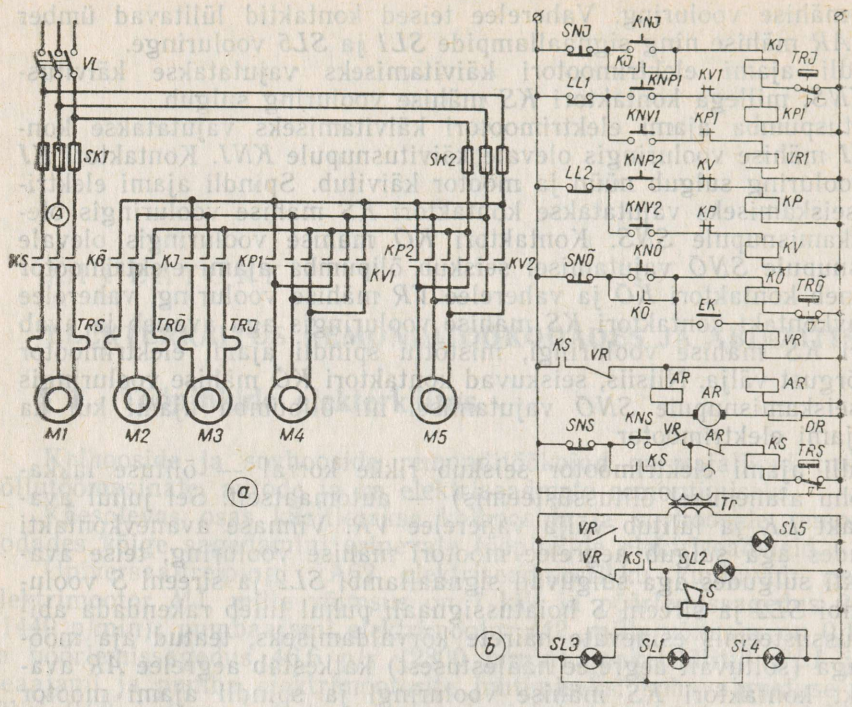
Suporte *1* ja *2* nihutatakse kiiresti paremale või vasakule juhtimisnuppudega *KNP1*, *KNV1*, *KNP2* ja *KNV2*.

Joonisel 214 on esitatud universaaltreipingi 1K62 juhtimislülituse skeem.

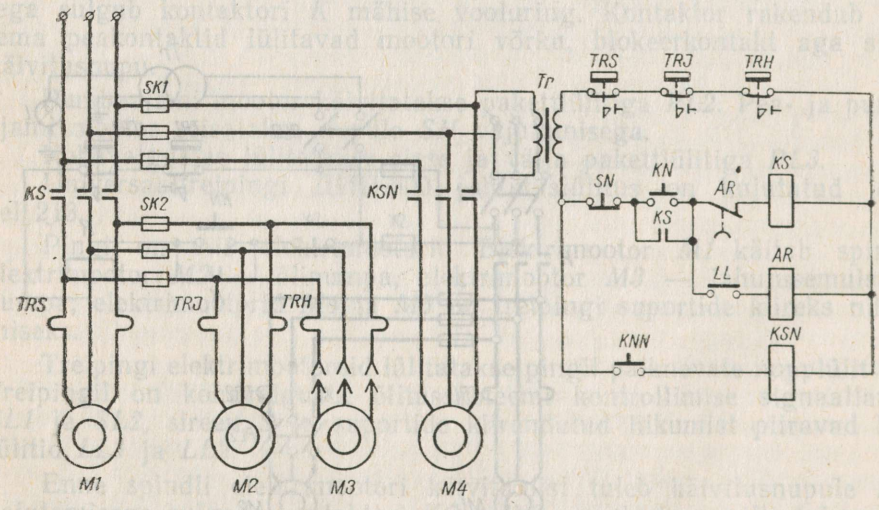
Pingil on neli elektrimootorit: *M1* — spindli käitamiseks, *M2* — jahutuspumba käitamiseks, *M3* — hüdropumba käitamiseks ja *M4* —



Joon. 212. Universaaltreipingi 1A62 elektrimootorite ja kohavalgustuse juhtimislülituse põhimõtteskeem



Joon. 213. Universaaltreipingi ДИП-500 elektrimootorite toite- (*a*) ja juhtimisahela (*b*) põhimõtteskeem



Joon. 214. Universaaltreipingi 1K62 elektriskeem

supordi kiireks nihutamiseks. Lülituses on ette nähtud pingi tühikäigu kestuse kontroll, s. o. pingi tühikäigul kontrollitakse aegreleega selle olukorra kestust. Kui viimane ületab ettenähtud määra, lülitatakse spindlit käitav elektrimootor võrgust välja.

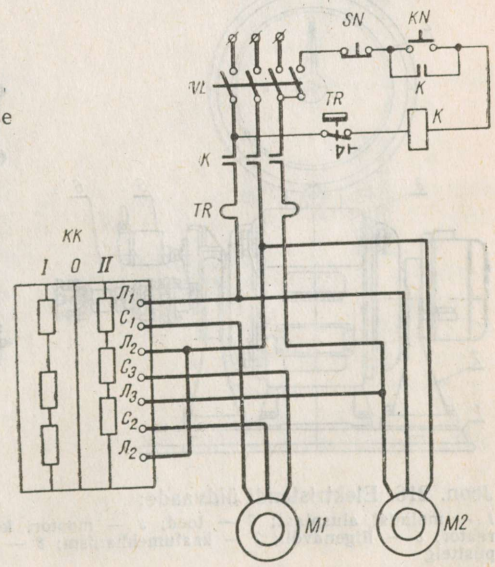
Juhtimislülituses sisalduvad osad ja nende otstarve: *KS* — spindli kontaktor, *KSN* — kontaktor supordi kiireks nihutamiseks, *AR* — tühikäigukestust piirav aegrelee, *LL* — peasiduri käepidemega tüüritav lõpplüliti, *KN, SN, KNN* — käivitus- ja seiskamisnupp ning supordi kiire nihutamise käivitusnupp, *TR* — termoreleed, *Tr* — pingemadaldustrafo (juhtimisahela toitmiseks).

Spindli ajami elektrimootori käivitamiseks vajutatakse käivitusnupule *KN*. Sulgub kontaktori *KS* vooluring, kontaktor rakendub ja tema kontaktid lülitavad spindli ajami elektrimootori staatori võrku. Samaaegselt selle mootori töölehakkamisega lülituvad võrku ka jahutuspumba ja hüdropumba ajami elektrimootorid. Elektrimootorite seiskamiseks vajutatakse seiskamisnupule *SN*. Kontaktori *KS* mähise vooluring katkeb nüüd, kontaktor ennistub ja tema kontaktid lülitavad mootorid *M1*, *M2*, *M3* võrgust välja. Mingi mootori kestval liigkoormusel sundseiskub ta termoreleega *TRS*, *TRJ* või *TRH*. Kui pingi tühikäik on pikaajaline (pikem aegrelee häälestuskestusest), avaneb aegrelee *AR* avanevkontakt, mis avab kontaktori *KS* mähise vooluringi. Kontaktor jääb toiteta, ta ennistub ja tema kontaktid lülitavad mootorid *M1*, *M2*, *M3* võrgust välja. Aegrelee mähise vooluringi kontrollib lõpplüliti *LL* kontakt, mis rakendatakse tegevusse peasiduri käepidemega. Kui peasiduri käepide on keskasendis, siis on lõpplüliti *LL* kontakt suletud. Peasiduri käepideme keskasend vastab pingi tühikäigule.

Supordi kiireks nihutamiseks vajutatakse käivitusnupule *KNN*. Sellega sulgub kontaktori *KSN* mähise vooluring, kontaktor rakendub ja tema kontaktid lülitavad supordi kiire nihutamise ajami mootori staatori võrku. Elektrimootor *M4* lülitub võrku ja töötab impulssolukorras.

Lühiste eest kaitsevad seadmeid sulavkaitsmed, kestva liigkoormuse eest — termoreleed.

Joonisel 215 on esitatud tasalihvimispingi juhtimislülituse elektriskeem.



Joon. 215. Tasalihvimispingi juhtimislülituse elektriskeem

Pingil on kaks elektrimootorit: *M1* lihvimispea käitamiseks ja *M2* lihvimisketta käitamiseks. Lihvimispead käitav mootor töötab reversiivolukorras ja teda tüüritakse ümberlülitiga *KK*. Pingi käivitamiseks tuleb vajutada nupule *KN*. Seejuures sulgub kontaktori *K* vooluring, kontaktor rakendub ja selle kontaktid lülitavad elektrimootorid *M1* ja *M2* võrku. Ümberlüliti *KK* asendist sõltuvalt liigub lihvimispea üles või alla või seisab paigal. Lihvimispea seisatakse ümberlülitiga *KK*, kogu pink aga nupuga *SN*.

Mootorite pikemaajalisel liigkoormusel rakendub termorelee *TR*, mille kontakt avab kontaktori *K* mähise vooluringi, ja elektrimootorid lülituvad võrgust välja.

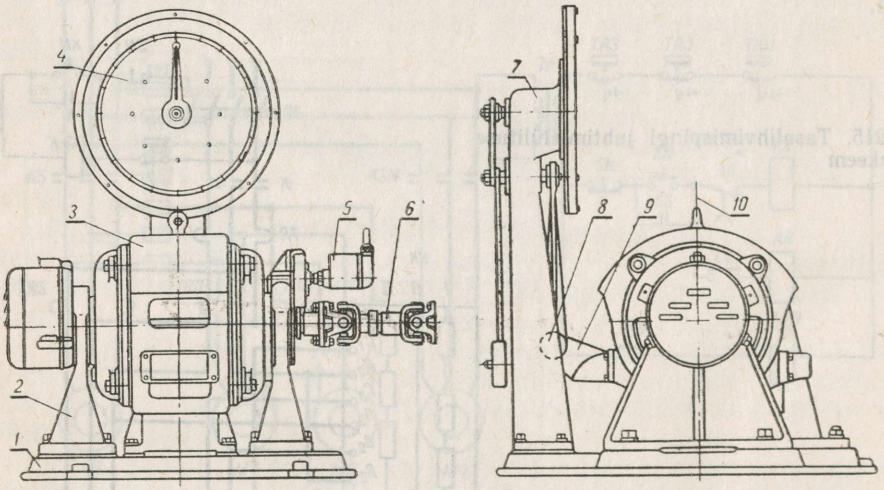
§ 2. Auto- ja traktorimootorite teimistendide elekterkäitus

Mootori sissetöötamine ja teimimine pärast kokkupanekut on remonditehnoloogias üks tähtsamaid töid. Eristatakse kaht sissetöötamisviisi: külm- ja kuumsissetöötamist. Külmsissetöötamisel käitatakse sisepõlemismootor stendi elektrimootoriga. Kuumsissetöötamisel, mis järgneb külmsissetöötamisele, käitab sisepõlemismootor stendi pidurdusseadeldist. Sissetöötamise kestus määratakse kindlaks sisepõlemismootori remonditehnoloogia kaardilt. Andmed sissetöötamise kohta on esitatud tabelis 21.

Sissetöötamise lõpul on takistusmoment 50...100 Nm (5... ...10 kgf·m); suuremad momendid vastavad suurematele mootoritele.

Takistusmomendi sõltuvus väntvõlli pöörlemissagedusest on esitatud tabelis 22, kus ühikuks on võetud väikseim takistusmoment.

Sissetöötamisviiside analüüsist nähtub, et kõigi remonditavate sisepõlemismootorite kvaliteetseks sissetöötamiseks peab stendi ajam tagama pöörlemissageduse sujuva reguleerimise suurtes piirides, arendama küllaldast momenti sisepõlemismootori paigaltnihkeks ja võimaldama ka kuumsissetöötamist, s. t. töötama pidurina. Neid tingimusi rahuldab faasasünkroonmootoriga stend, mille üldvaade on kujutatud joonisel 216.



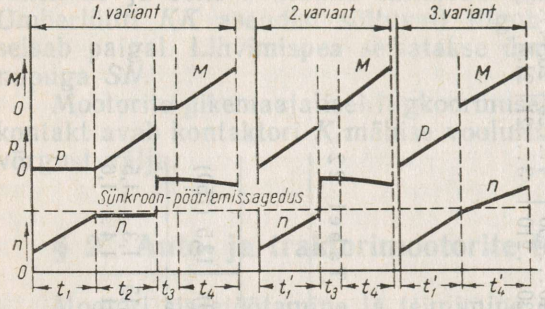
Joon. 216. Elektristendi üldvaade:
1 — malmist alusplaat; *2* — toed; *3* — mootori kere; *4* — numbrilaud; *5* — tahhogeneraator; *6* — liigendvõll; *7* — kaalumehhanism; *8* — liigendi kese; *9* — hoob; *10* — mootori püsttelg

Tabel 21

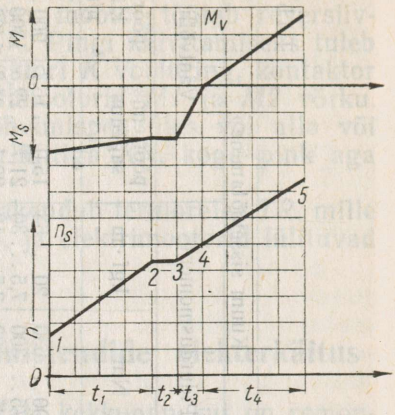
Mootori mark	Külm sissetöötamine							Kuum sissetöötamine				
	Paigaltnihkemoment		Vajalik võimsus	Takistusmoment		Väntvõlli		Pidurdusvõimsus kW	Pidurdusmoment		Väntvõlli	
	Nm	kgf · m	kW	Nm	kgf · m	pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min		Nm	kgf · m	pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min
КДМ-46	120 ... 180	12 ... 18	15 ... 5	200 ... 100	20 ... 10	5,0 ... 16,7	300 ... 1000	20 ... 60	200 ... 630	20 ... 63	15,0 ... 16,7	900 ... 1000
Д-54	100 ... 130	10 ... 13	10 ... 4	200 ... 70	20 ... 7	5,0 ... 16,7	300 ... 1000	10 ... 40	75 ... 300	7,5 ... 30	21,7 ... 22,5	1300 ... 1350
Д-35	10 ... 130	10 ... 13	8 ... 4	200 ... 70	20 ... 7	5,0 ... 16,7	300 ... 1000	5 ... 26	35 ... 180	3,5 ... 18	23,4 ... 24,2	1400 ... 1450
ЗИС-5К	200 ... 280	20 ... 28	15 ... 4,5	300 ... 60	30 ... 6	5,0 ... 13,3	300 ... 800	10 ... 40	40 ... 230	4 ... 23	23,4 ... 26,7	1400 ... 1600
У-5МА	—	—	10 ... 5	120 ... 40	12 ... 4	5,0 ... 13,3	300 ... 800	8 ... 30	30 ... 210	3 ... 21	21,7 ... 23,4	1300 ... 1400

Tabel 22

Mootor	Väntvõlli pöörlemissagedus p/s (p/min)					
	0 (0)	1,17 (70)	2,5 (150)	5,0 (300)	8,33 (500)	12,5 (750)
Diiselmootor	1,2 ... 1,7	1,1 ... 1,45	1,05 ... 1,15	1,00	1,08 ... 1,15	1,3 ... 1,5
Bensiinimootor	1,7 ... 1,8	1,5 ... 1,6	1,1 ... 1,2	1,00	1 ... 1,1	1,4 ... 1,6



Joon. 217. Mootorite sissetöötamistingimuste variandid automaatjuhtimisega elektripidurdusstendidel, kusjuures üleminek ühelt variandilt teisele toimub käsitsi



Joon. 218. Diiselmootorite sissetöötamise graafik täieliku automaatjuhtimisega elektristendi puhul

Vedelikreostaadi lahuse segamiseks kasutatakse elektrimootoriga käitatavat vertikaalset tsentrifugaalpumpa. Sisepõlemismootor sidurdatakse stendiga liigendvõlli *6* kaudu. Stendi poolt arendatavat võimsust mõõdetakse balanssiirsüsteemiga. Elektrimootori kere on paigaldatud kahele toele *2*, mille kuullaagrites ta saab pöörduda. Toed on paigutatud malmist alusplaadile *1*. Hoova *9* kaudu on kere ühendatud pendel-tüüpi kaalumehhanismiga *7*, mis mõõdab kõigi (elektriliste, magnetiliste, mehaaniliste) jõudude mõjul piduris tekkivat kogumomenti. Osuti näitab numbrilaual *4* piduri koormust. Kaalumehhanismi *7* pikkus mootori püstteljest *10* kuni liigendi keskmeni *8* on 716,2 mm. Numbrilaua skaala on gradueeritud jõukilogrammides. Stendi poolt arendatav võimsus arvutatakse valemiga

$$N_e = \frac{P_n}{1000} \text{ hj}^1, \tag{395}$$

kus P on kaalumehhanismi näit kgf;
n — tahhogeneraatori *5* osutiriistaga mõõdetav elektrimootori pöörlemise kiirus p/min.

Elektristendide kasutamine võimaldab sisepõlemismootori sissetöötamist automatiseerida, lihtsustada operaatori kohustusi, täpselt tagada nõutud sissetöötamistingimusi ja saavutada tööpindade head sobitatust.

Joonisel 217 on esitatud kolm mootorite sissetöötamistingimuste varianti, mida on võimalik saavutada automaatjuhtimisega. Nende tingimuste iseärasuseks on väntvõlli pöörlemissageduse n, koormusmomendi M ja silindrite siserõhu p pidev sujuv kasv. Sel juhul sobituvad pinnad sujuvamalt ja see nõuab vähem aega.

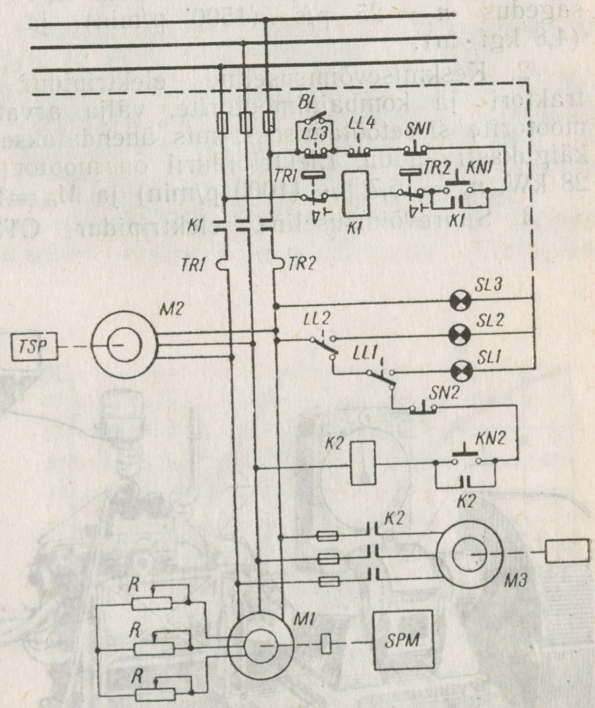
Esimese variandi puhul toimub mootori külmsissetöötamine eraldi ilma kompressioonita (kestusega t_1) ja kompressiooniga (kestusega t_2), teise ja kolmanda variandi puhul aga üheaegselt (kestusega t'_1). Esimese ja teise variandi puhul algab kuumsissetöötamine tühijooksu suurimal pöörlemissagedusel, algul ilma koormuseta (kestusega t_3), seejärel aga

[1] Seoses SI süsteemi juurutamisega tuleb stendid normida SI süsteemi ühikutes (jõud njuutonites, võimsus kilovattides, pöörlemissagedus pöörete arvuna sekundis). *Tõlk.*

kasvaval koormusel (kestusega t_4). Kolmanda variandi puhul toimub kuumsissetöötamine üheaegselt kasvaval pöörlemissagedusel ja koormusel (kestusega t'_4). Üleminek ühelt talitlusolukorralt teisele toimub käsitsi.

Joonisel 218 on esitatud graafik diiselmootorite sissetöötamiseks automaatjuhtimisega elektristendil kolmanda variandi järgi. Stend, mis käivitatakse punktis *1* külmsissetöötamiseks, töötab sissetöötatava mootori väntvõlli pöörlemissageduse kasvades ning takistusmomendi M_s vähenedes kuni punktini *2*. Punktis *2* seisatakse külmsissetöötamisele lülitav seadeldis ja käivitatakse kuumsissetöötamisele lülitav seadeldis. Sissetöötatav mootor käivitub automaatselt punktis *3* ja töötab ilma koormuseta kasvava pöörlemissagedusega kuni punktini *4*. Punktis *4* läheb stendi mootor sünkroonpöörlemissagedusel üle generaatoriolukorda. Algab sissetöötatava mootori sujuv koormamine. Punktis *5* mootori sissetöötamine lõpeb, koormus lülitatakse automaatselt välja ja mootor siirdub tühijooksuolukorda.

Kontaktrõngastega asünkroonmootori kasutamine elektristendil võimaldabki käsitletud tingimuste saavutamist. Mootori pöörlemissageduse reguleerimiseks külmsissetöötamisel ja sisepõlemismootori koormamiseks kuumsissetöötamisel muudetakse elektrimootori rootoriringi ühendatud vedelikreostaadi takistust (joon. 219).



Joon. 219. Poolautomaatjuhtimisega ja ühelt sissetöötamistingimuste variandilt teisele käsitsi ümberlülitatava sissetöötamis- ja pidurdusstendi elektriskeem:

SPM — sissetöötatav sisepõlemismootor; *M1* — seda käitav ja pidurdav elektrimootor; *TSP* — tsentrifugaalpump vedelikreostaadi lahuse segamiseks; *M2* — seda käitav elektrimootor; *M3* — vedelikreostaadi elektroode liigutav elektrimootor

Hüdropiduriga võrreldes on asünkroonmootoriga pidurdusseadmel järgmised eelised.

1. Viimase jaoks on vaja vähem seadmeid — ainult reostaadi ja kaalumehhanismiga asünkroonmootor.

2. Hüdropiduri toitmiseks pole vaja vett.

3. Elektripidurdusseade annab kuumsissetöötamisel energiat võrku, hüvitades külmsissetöötamisel tekkiva energiakulu ja vähendades seega sisepõlemismootori remondi maksumust.

4. Elektrimootori ülesjooks toimub sujuvalt (reguleerimisreostaadi tõttu). Mootori pöörlemissagedust on võimalik mootorit seiskamata sujuvalt reguleerida.

5. Elektripidurdusseadme metallikulu on väiksem, ta on ehituselt lihtsam ja hõlpsamini teenindatav; ta on töökindlam ning tema maksumus ja kasutamiskulud on väiksemad.

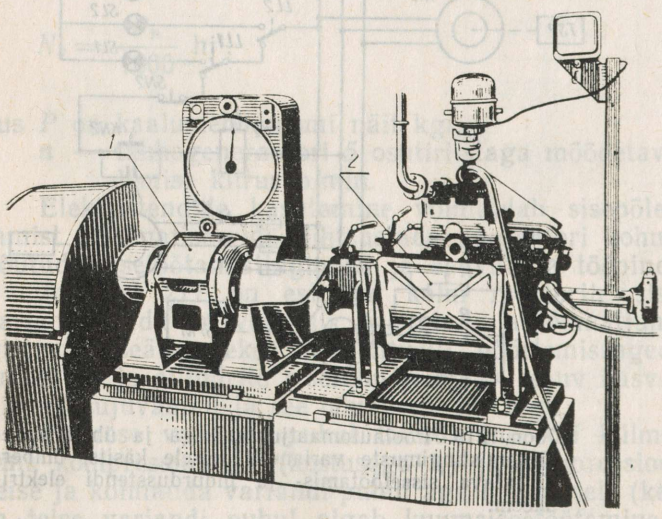
Faasasünkroonmootoriga elektripidurdusseadme metallikulu on väiksem kui alalisvoolumootoriga generaator-mootorsüsteemi pidurdusseade ning tema teenindamine on lihtsam.

Kaasajal on olemas neli faasasünkroonmootoriga stendi tüüpi.

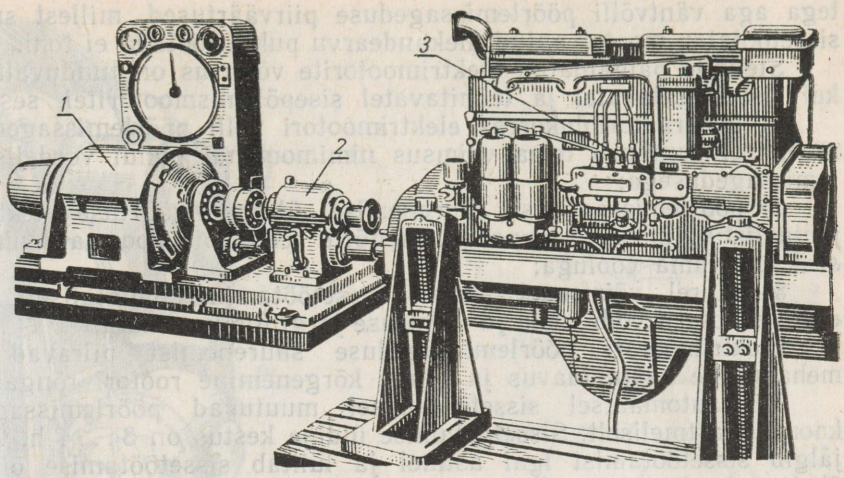
1. Väikesevõimsuseline elektripidur СТЭ-7-ГОСНИТИ käivitusmootoritele П-46 ja ПД-10 (joon. 220). Sellel võib sisse töötada ka traktorite ХТЗ-7, ДТ-14 ja auto «Moskvitš» mootoreid. Elektripiduril on mootor АК-60-4, mille nimivõimsus on $P_n = 7$ kW, sünkroonpöörlemissagedus $n_s = 25$ p/s (1500 p/min) ja nimimoment $M_n = 47$ Nm (4,8 kgf · m).

2. Keskmisevõimsuseline elektripidur СТЭ-28-ГОСНИТИ kõigi traktori- ja kombainimootorite, välja arvatud КДМ-46, samuti automootorite sissetöötamiseks, mis ühendatakse pidurivõlliga vastava auto käigukasti kaudu. Elektripiduril on mootor АК-71-6, mille võimsus on 28 kW, $n_s = 16{,}7$ p/s (1000 p/min) ja $M_n = 283$ Nm (28,8 kgf · m).

3. Suurevõimsuseline elektripidur СТЭ-40-ГОСНИТИ mootorite



Joon. 220. Elektristendi СТЭ-7 ja temale sissetöötamiseks paigutatud mootori П-46 üldvaade:
1 — elektrimootor; *2* — sisepõlemismootor

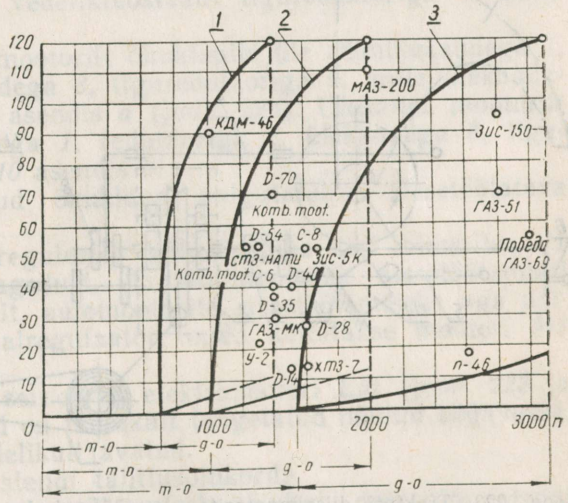


Joon. 221. Elektristendi СТЭУ-28 ja temale paigutatud mootori КДМ-46 üldvaade:
1 — elektrimootor; *2* — reduktor; *3* — diiselmootor

КДМ-46 jaoks. Piduril on asünkroonmootor АК-91-8, mille võimsus on 40 kW, $n_s = 12{,}5$ p/s (750 p/min) ja $M_n = 530$ Nm (54 kgf · m).

4. Täiustatud keskmisevõimsuseline reduktoriga elektripidur СТЭУ-28-ГОСНИТИ (joon. 221). Reduktor on vahetult sidurdav, aeglustav kiirendav (ülekandearv i vastavalt 1,0, 1,42 ja 0,64). Elektripiduril on mootor АК-81-6. Reduktori tõttu on stendil võimalik teimida ja sisse töötada kõiki põllumajanduses kasutatavaid sisepõlemismootoreid.

Joonisel 222 on esitatud elektristendi СТЭУ-28-ГОСНИТИ tunnusjooned. Punktidega on märgitud mootorite nimivõimsused, kriipsjoon-



Joon. 222. Elektristendi СТЭУ-28 tunnusjooned:
1 — aeglustav ülekanne; *2* — vahetu sidurdus; *3* — kiirendav ülekanne; *m-o* — mootoriolukord; *g-o* — generaatoriolukord

tega aga väntvõlli pöörlemissageduse piirväärtused, millest suurematel sissetöötatav mootor antud ülekandearvu puhul töötada ei tohi.

Stendile paigaldatud elektrimootorite võimsus on tunduvalt väiksem kui sissetöötatavatel ja teimitavatel sisepõlemismootoritel, sest:

1) generaatoriolukorras elektrimootori võlli pöörlemissageduse suurenemisel suureneb tema võimsus nimimomendi puhul võrdeliselt pöörlemissagedusega;

2) pöörlemissageduse suurenemisel üle nimiväärtuse elektrimootori jahtumistingimused paranevad, mistõttu teda võib koormata nimiväärtusest tugevama vooluga;

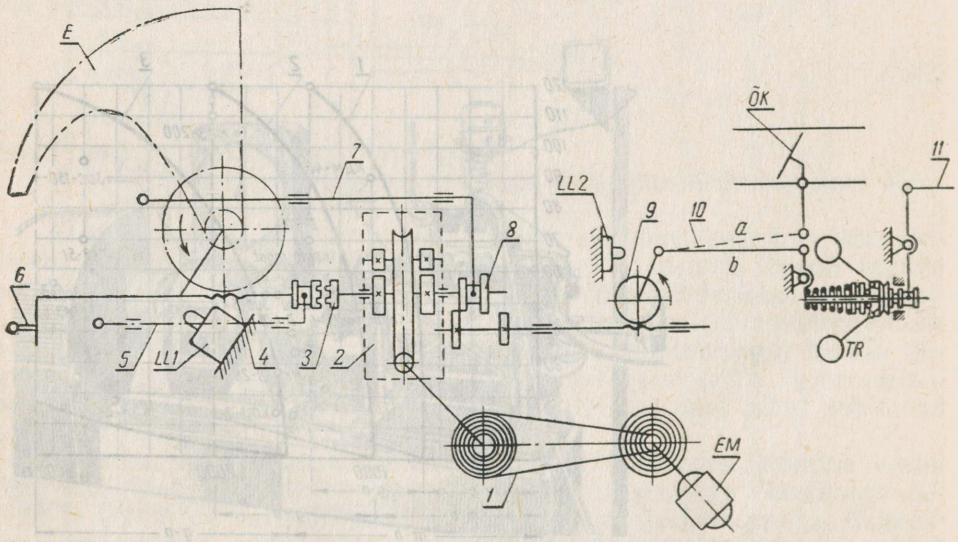
3) suurel võimsusel toimub sissetöötamine lühiajaliselt, mistõttu elektrimootorit võib voolu ja võimsuse järgi üle koormata.

Elektrimootori pöörlemissageduse suurenemist piiravad mähiste mehaaniline vastupidavus ja pinge kõrgenemine rootori rõngastel.

Mitteautomaatsel sissetöötamisel muutuvad pöörlemissagedus ja koormus astmeliselt. Sissetöötamise üldine kestus on 3 ... 4 h. Operaator jälgib sissetöötamist igal astmel ja lülitab sissetöötamise õigeaegselt ühelt astmelt teisele ümber. Seejuures on tal vaja arvutada koormusi astmete kaupa, arvestades muutuvat momenti ja kiirust. Remonditehastes, kus operaator juhib üheaegselt kahe või kolme mootori sissetöötamist, on astmetele vastavate tingimuste täpne täitmine raskendatud.

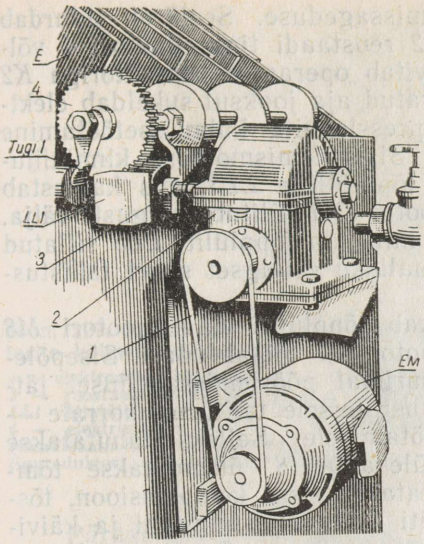
Elektristendidel võib mootorite sissetöötamist remontimisel automatiseerida, operaatori ülesandeid lihtsustada, nõutud sissetöötamistingimusi täpselt täita ja saavutada tööpindade head sobitatust.

Elektristendidel kasutatav mootorite sissetöötamise automatiseerimise seadeldis on ehitatud avatud programmjuhtimise põhimõttel. Traktorite diiselmootorite sissetöötamise automaatjuhtimise mehhanismi kinemaatikaskeem on esitatud joonisel 223. Seadeldise koostisse kuuluvad elektrimootor *EM*, ülekanded *1* ja *2*, õhuklapp *ÕK*, tsentrifugaalregulaator *TR*, lõpplülitid *LL1*, *LL2* ja signaallambid.

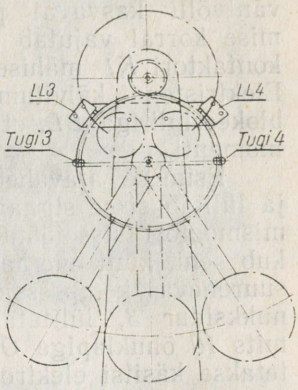


Joon. 223. Traktori diiselmootorite sissetöötamiseks määratud ühe abimootoriga automaatjuhtimismehhanismide kinemaatikaskeem:

1 — rihmülekanne; *2* — reduktor; *3* — sidur; *4* ja *9* — tigureduktorid; *5*, *10* ja *11* — tõmmitsad; *6* — käsiajam; *7* — ümberlülitamishoob; *8* — hammasülekande ümberlülitamistrummel; *EM* — elektrimootor; *ÕK* — õhuklapp; *TR* —tsentrifugaalregulaator; *LL1* ja *LL2* — lõpplülitid; *E* — elektrood



Joon. 224. Automaatseadeldise elektriajam: *1* — rihmülekanne; *2* — reduktor; *3* — sidur; *4* — tigureduktor; *EM* — elektrimootor; *R* — vedelikreostaat; *E* — elektroodid; *LL1* — lõpplüliti



Joon. 225. Lõpplülitite ja tugede paigutus elektristendi kaalumehhanismil: *LL3* ja *LL4* — lõpplülitid

Kolmefaasiline elektrimootor võimsusega 120 W ja pöörlemissagedusega 23,4 p/s (1400 p/min) paigaldatakse vedelikreostaadile *R* (joon. 224). Mootor on reostaadi *R* elektroodide *E* tõste- ja langetusmehhanismi ning õhuklapi *ÕK* käitamiseks ja tsentrifugaalregulaatori *TR* juhtimiseks. Mootori pöördemoment kantakse elektroodide tõste- ja langetusmehhanismile üle rihmülekandega *1*, millel on kaks kuueastmelist rihmaratast ülekandearvudega 0,5, 0,637, 0,8, 1,0, 1,25, 1,572, mis võimaldavad sissetöötamise kestust muuta, planetaarreduktoriga *2*, mille ülekandearv on 9680, nukksiduriga *3* ja vedelikreostaadi tigureduktoriga *4*, mille ülekandearv on 50.

Pöördemoment kantakse mootorilt õhuklapile üle rihmülekandega *1*, reduktoriga *2*, hammasülekandega *8*, tigureduktoriga *9*, mille ülekandearv on 65, ja tõmmitsaga *10* asendis *a* (joon. 223). Ülekanne mootorilt regulaatorile toimub ülekandega *1*, reduktoriga *2*, ülekandega *8*, tigureduktoriga *9* ja tõmmitsaga *10* asendis *b*.

Reguleerimiseks määratud õhuklapp paigutatakse sissetöötatava mootori imitorule.

Tsentrifugaalregulaator reguleerib kütusepumba lati tõmmitsa *11* kaudu väntvõlli pöörlemissagedust. Traktorimootorite sissetöötamisel kasutatakse nende regulaatorit, automootorite sissetöötamiseks aga paigaldatakse lisaks tsentrifugaalregulaator, mida käitatakse mootori *M1* võllilt (joon. 219).

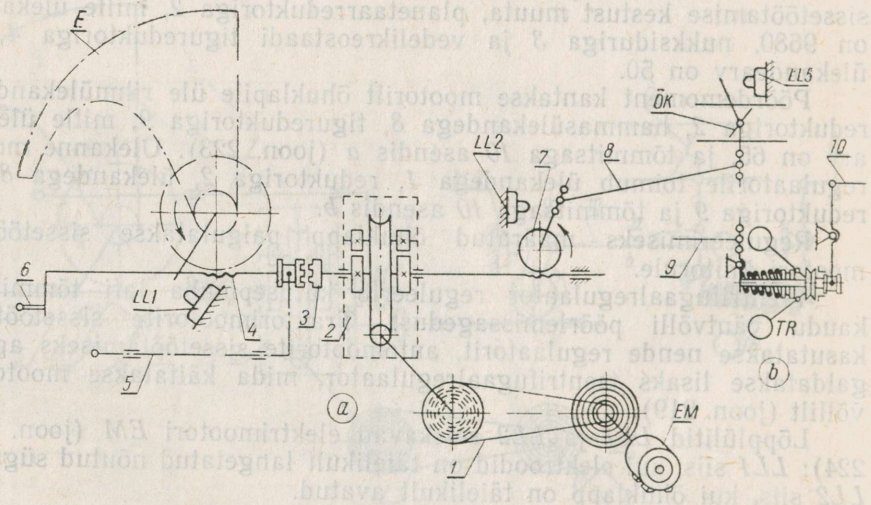
Lõpplülitid *LL1* ja *LL2* seiskavad elektrimootori *EM* (joon. 223 ja 224): *LL1* siis, kui elektroodid on täielikult langetatud nõutud sügavusse, *LL2* siis, kui õhuklapp on täielikult avatud.

Signaallambid näitavad stendi talitlusolukorda.

Esimese variandi järgi sissetöötamisel käivitab operaator stendi elektrimootori *M1* (joon. 219), vajutades käivitusnupule *KN1*, millega rakendub esimene kontaktor *K1*. Mootori *M1* pingestudes helendub signaallamp *SL3*. Pöörates reostaadi elektroodid käsitsi vedelikku, seab

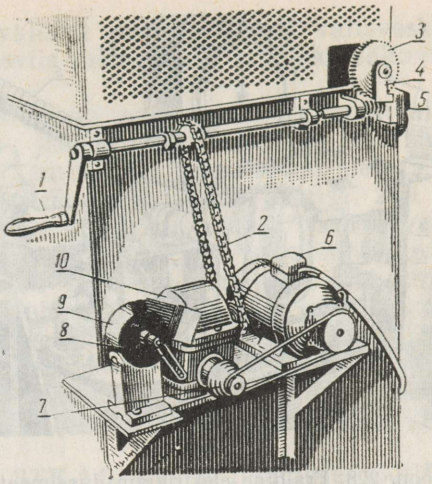
operaator külmsissetöötamise algpöörlemissageduse. Seejärel sidurdab ta nukksiduri *3* abil planetaarreduktori *2* reostaadi tigureduktori *4* võlliga. Vajutades käivitusnupule *KN2*, käivitab operaator kontaktoriga *K2* automaatjuhtimise mootori *M3*, mis määratud aja jooksul sukeldab elektroodid sujuvalt vedelikku. Toimub kompressioonita külmsissetöötamine väntvõlli kasvaval pöörlemissagedusel. Sisepõlemismootori kinnikiilumise korral vajutab tugi *3* (joon. 225) lõpplülitile *LL3*, mis katkestab kontaktori *K1* mähise vooluringi, ja mootor *M1* lülitub võrgust välja. Elektristendi käivitumise jooksul (2 ... 3 min) on lõpplüliti *LL3* sillatud blokeerlülitiga *BL*, et saaks ületada võimalikku esialgset suurt takistusmomenti.

Esimese ajavahemiku t_1 lõpul seiskab lõpplüliti *LL1* mootori *M3* ja lülitab sisse signaallambi *SL1*. Peamootor *M1* töötab edasi. Sisepõlemismootori sissetöötamine tühijooksu suurimal pöörlemissagedusel jätkub seni, kuni operaator lülitab selle ümber teisele talitlusolukorrale — suureneva kompressiooniga külmsissetöötamisele. Selleks lahutatakse nukksidur *3*, lülitatakse sisse hammasülekanne *8*, ühendatakse tõmmits *10* õhuklapiga *ÕK* (joon. 223), lülitatakse sisse kompressioon, tõstetakse käsitsi elektroode *E* kuni lõpplüliti *LL1* vabastumiseni ja käivitatakse mootor *M3* käivitusnupule *KN2* vajutamisega. Suureneva kompressiooniga sissetöötamise lõpul seiskab lõpplüliti *LL2* mootori *M3* ja lülitab sisse signaallambi *SL2*. Elektristend jätkab tööd seni, kuni operaator seab uue ümberlülitamisega stendi kuumsissetöötamise talitlusolukorda. Selleks tõstetakse reostaadi elektroodid käepidemega *6* vedelikust välja nii, et väntvõlli pöörlemissagedus väheneb väärtusele 5,0 ... ... 6,67 p/s (300 ... 400 p/min), lahutatakse hammasülekanne, seatakse kütusepumba hoob täiele võimsusele, käivitatakse sisepõlemismootor, tõstetakse reostaadi elektroodid täielikult vedelikust välja, lülitatakse sisse nukksidur ja pärast lõpplüliti *LL2* vabastamist käivitatakse mootor *M3*.



Joon. 226. Traktori diiselmootorite sissetöötamiseks määratud kahe abimootoriga automaatjuhtimismehhanismide kinemaatikaskeem:

a — elektriajam külmsissetöötamiseks; *b* — kuumsissetöötamisel käitatav sõlm; *1* — rihmülekanne; *2* — reduktor; *3* — sidur; *4* ja *7* — tigureduktorid; *5*, *8*, *9* ja *10* — tõmmitsad; *6* — käsiajam; *EM* — elektrimootor; *TR* — tsentrifugaalregulaator; *LL1* ja *LL2* ja *LL5* — lõpplülitid; *ÕK* — õhuklapp; *E* — elektrood



Joon. 227. Eraldi elektriajam diiselmootorite külmsissetöötamiseks:
1 — elektroodide käsiajam; *2* — kettülekanne; *3* — reostaadi tiguülekanne; *4* — lõpplüliti *LL1* väljalülitamise tugi; *5* — lõpplüliti *LL1*; *6* — elektrimootor *EM*; *7* — kuueastmeline rihmülekanne; *8* — tigureduktori hoob; *9* — tigureduktor; *10* — planetaarreduktor

Pärast kuumsissetöötamise lõppemist, kui pidurdusmoment saavutab nõutud väärtuse, vabastab lõpplüliti *LL4* toega *4* elektristendi pingest ja signaallamp *SL3* kustub. Sisepõlemismootor töötab tühijooksul edasi, kuni operaator ta seiskab. Ühelt talitlusolukorralt teisele ümberseadmisele kulub operaatoril mõni minut.

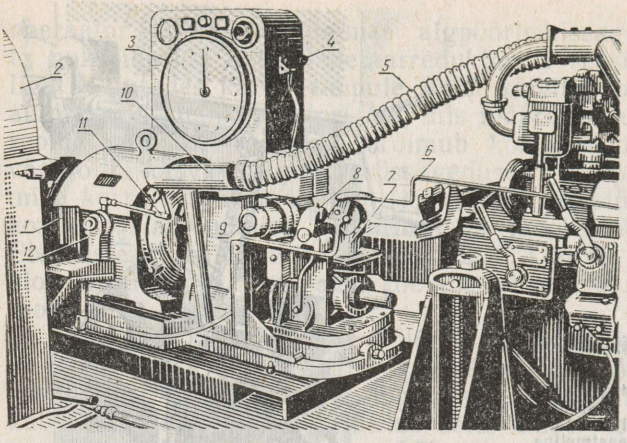
Elektristendi töö sisepõlemismootori sissetöötamisel teise variandi järgi erineb kirjeldatust selle poolest, et külmsissetöötamise ajal kasutatakse automaatseadeldise mootorit ühtlasi ka reostaadi elektroodide sukeldamiseks vedelikku ja õhuklapi avamiseks.

Elektristendi töö kolmanda variandi järgi ühtib sisepõlemismootori külmsissetöötamise olukorras teise variandiga, kuumsissetöötamise olukorras aga kasutatakse automaatseadeldise elektriajamit ja tõmmitsat *10* (asendis *b*, joon. 223) regulaatori vedru sujuvaks pinguldamiseks, millele vastavalt suureneb sisepõlemismootori väntvõlli pöörlemissagedus. Kui pidurduselektrimootori rootori pöörlemissagedus ületab sünkroonkiiruse (pidurdus algab sünkroonkiiruselt), suureneb pidurdusmoment reostaadi elektroodide varem kindlaksmääratud asendis (nukksidur on lahutatud). Üleliiduline Riiklik Traktorite ja Põllumajandusmasinate Remondi ja Ekspluatatsiooni Tehnoloogia Teadusliku Uurimise Instituut (ГОСНИТИ) peab seda varianti kõige sobivamaks; eriti sobib see variant automootorite sissetöötamiseks.

Kui on teada automaatseadeldise mehhanismide ülekandearvud, elektrimootori pöörlemissagedus, reostaadi elektroodide, õhuklapi ja regulaatori hoova pöördenurk, võib leida sissetöötamise kestuse igasuguse talitlusolukorra jaoks.

Eespool kirjeldatud automatiseerimisviiside puuduseks on asjaolu, et operaator peab sisepõlemismootori ühelt sissetöötamise talitlusolukorralt teisele käsitsi ümber lülitama.

Üleliidulises Riiklikus Traktorite ja Põllumajandusmasinate Remondi ja Ekspluatatsiooni Tehnoloogia Teadusliku Uurimise Instituudis (ГОСНИТИ) on loodud seadeldis sissetöötamise ja ühelt talitlusolukorralt teisele ümberlülitamise automatiseerimiseks. Operaatori osa piirdub vaid elektristendi käivitamise ja seadeldise lähteasendisse seadmisega. Täielikuks automatiseerimiseks kasutatakse kaht ühesugust elektrimootoriga abiajamit (joon. 226). Üks neist (joon. 227), mida käivitab operaator, võimaldab diiselmootorite külmsissetöötamist väntvõlli pöörlemis-



Joon. 228. Eraldine elektriajam diiselmootorite kuumsissetöötamiseks:

1 — kuumsissetöötamise elektriajami planetaarreduktor; *2* — reostaat; *3* — elektristendi mõõteriistade pult; *4* — signaallamp; *5* — paindvoolik; *6* ja *11* — tõmmitsad; *7* ja *12* — tigureduktorid; *8* — planetaarreduktor; *9* — elektrimootor *M4*; *10* — õhuklapiga toru

sageduse ja silindrites tekitatud kompressiooni üheaegsel suurenemisel. Teine, (joon. 228) esimesega käivitatav, lülitab sisepõlemismootori kuumsissetöötamisele pöörlemissageduse ja koormuse üheaegsel suurenemisel.

Mõlemal elektriajamil on elektrimootor, rihmülekanne, planetaar- ja tigureduktor ning tõmmits, mis ühel on ühendatud õhuklapiga ning teisel kütusepumba regulaatoriga. Ajammehhanismide kinemaatikaskeemi põhimõte on jäänud endiseks. Ära on jäetud vaid hammasülekanne *8* ja selle tõmmits *7* ning külmsissetöötamise talitlusolukorra jaoks on eraldi ajam õhuklapil *ÕK* (mootoriga *M3* ülekannete *1*, *2*, *9*, *4*, *10* kaudu), kuumsissetöötamise talitlusolukorra jaoks aga regulaatoril *TR* (mootoriga *M4* ülekannete *1'*, *2'*, *9'*, *12'* kaudu regulaatori vedru pinguldaval hooval) (joon. 226). Sõlmed *M4*, *1'*, *2'*, *9'* sarnanevad sõlmedega *M3*, *1*, *2*, *4*, *9*, mistõttu neid joonisel 226 kujutatud pole.

Mootorite sissetöötamise automaatjuhtimisseadeldiste pikaajaline katsetamine Üleliidulise Riikliku Traktorite ja Põllumajandusmasinate Remondi ja Ekspluatatsiooni Tehnoloogia Teadusliku Uurimise Instituudi (ГОСНИТИ) laboratooriumides ja tootmistingimustes on tõendanud nende häid ekspluatatsiooniomadusi — töökindlust, hõlpsat käsitsetavust, nõutud talitlusolukorra küllalt täpset säilimist.

3. Jahu- ja kruubitööstusmasinate elekterkäitus

Peale jahuveskite kasutatakse kolhoosides ja sovhoosides ka muid teravilja töötlemise seadmeid, nagu kruubi- ja hirsiveskeid, mis sageli paigaldatakse veskiruumi.

Jahu- ja kruubitööstuse tehnoloogiaseadmed paiknevad tavaliselt kahes jaoskonnas, mis moodustavad kaks iseseisvat osakonda: puhastusosakonna ja jahvatusosakonna. Kumbki neist osakondadest võib töötada iseseisvalt.

Teravilja ettevalmistatusest ja kasutatavatest seadmetest sõltuvalt saadakse lihtjahu, kroovjahu või püül.

Kolhooside veskid koosnevad tavaliselt neljavõllilisest valtsveskist ja kiviveskist. Jahvatus- ja sorteerimisviis määratakse kindlaks sõltuvalt energeetika- ja tehnoloogiaseadmetest.

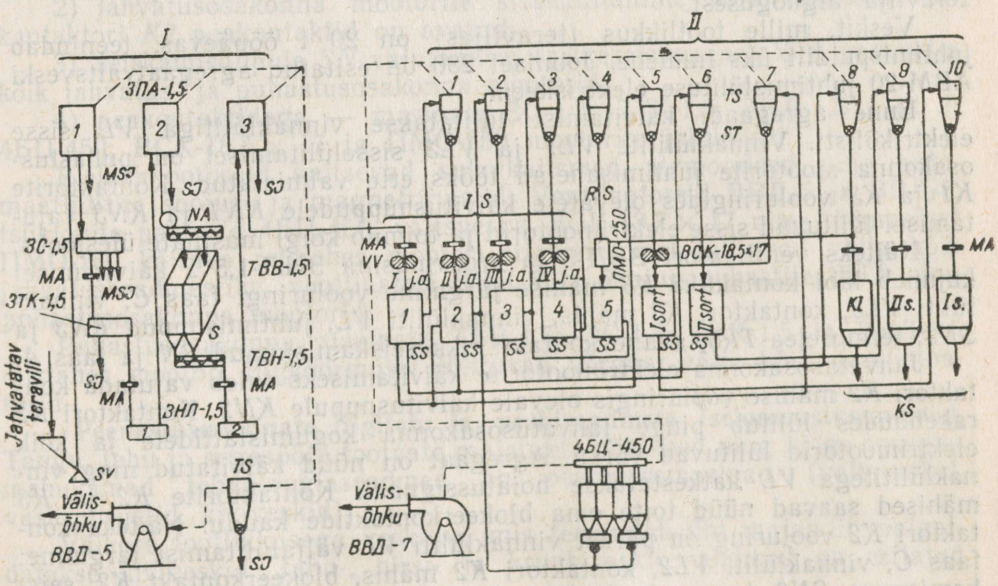
Viimasel ajal kasutatakse kolhoosides ja sovhoosides agregaatvaltsveskit ABM-20. See koosneb puhastus-, jahvatus-, sõelumis- ja teisaldusmasinatest ning lahtivõetavale metallraamistikule paigaldatud elektri- ja abiseadmetest. Selle veski tehnoloogiaskeem on esitatud joonisel 229.

Puhastusosakonnas vili puhastatakse ja valmistatakse ette jahvatamiseks. Töödeldav teravili suundub söötepunkrist suruõhkvastuvõtjasse *SV*. Ventilaatoriga ВВД-5 tekitatud õhuvoolu toimel, mille kiirus on 15...20 m/s, satub vili siit õhujugapuhastisse ЗПА-1,5. Selles toimub teravilja esmane puhastamine ja sorteerimine mahumassi järgi. Teravilja põhikogus suundub sõelurisse ЗС-1,5, kus see sorteeritakse suuruse järgi ja eraldatakse lõplikult mittesöötjäätmed *MSJ*. Teravilja ja jahvatist puhastatakse neisse sattunud metalliosakestest mitu korda magnetaparaatidega *MA*.

Edasi suundub teravili triöörile ЗТК-1,5, kus eraldatakse söötjäätmed *SJ*. Seejärel satub teravili pinna puhastamiseks (harjamiseks, poleerimiseks) kroovmasinasse *1* tüüp ЗНЛ-1,5.

Puhastatud teravili suundub õhujugapuhastisse *2*, kus eraldub ka osa söötjäätmeid. Nüüd läheb teravili niisutamiseks niisutusaparaati *NA*. Sealt toimetatakse vili, mida segab tigu ТВВ-1,5, salvedesse *S* muhenema. Teravili laagerdub salvedes 6...10 h ja suunatakse siis tigutransportööriga ТВН-1,5 kroovmasinasse ЗНЛ-1,5 *2*. Seal vabastatakse teravili kestast. Jahvatamiseks ettevalmistatud teravili satub õhujugapuhastisse *3*, kus söötjäätmed eraldatakse lõplikult.

Õhujugapuhastis satub osa väheväärtuslikku teravilja (kriipsjoonega kujutatud) õhuvooluga väljalaadimistsüklonisse *TS*. Sel teel eraldatud jäätmeid tarvitatakse loomasöödaks. Lisanditest puhastatud õhk puhutakse ventilaatoriga ВВД-5 välisõhku.



Joon. 229. Veski ABM-20 tehnoloogiaskeem:
I — teraviljapuhastusosakond; *II* — jahvatusosakond; *1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9* ja *10* tsüklonid; *1S* — jahvatusseadmestik; *RS* — rabamisseadmestik, *KS* — kogumissalved, *MSJ* — söötjäätmed

Valtsveski jahvatusosakond on kõige energiamahukam. Sinna on paigutatud valtspingid, sõelumissarjad, kõlude sõelad.

Puhastatud ja jahvatamiseks ettevalmistatud vili suundub õhujugapuhastist *3* läbi magnetaparaadi valtsveski *VV* esimesse jahvatusastmesse *I j. a.* Seejärel suundub jahvatis sõelumissarjale *SS1*, kus eraldatakse jahu. Jahvatussaadusi teisaldatakse jahvatusosakonnas suruõhktõstukitega. Sõelmed suunatakse läbi tsükloni *1* valtsveski järgmisse astmesse *II j. a.*, kus neid uuesti peenestatakse. Sõelumissarjadest *1* ja *2* saadud jahu suundub tsükloni *7* kaudu I sordi sõelumissarja (valtsidest mööda) ja seejärel edasi tsükloni *10* kaudu kogumissalve. Jämedateralisem jahvatis satub tsükloni *5* kaudu väikesemõõtmelisse valtsveskisse ВСК-18,5 × 17.

Jahvatussaaduste edasine liikumine ühtib eespool kirjeldatuga. Ülejäänud jahvatis läbib pärast teises astmes peenestamist järgemisi valtsveski kolmanda ja neljanda astme *III j. a.* ja *IV j. a.* Sõelumissarjast *3* saadud II sordi jahu suundub tsükloni *6*, II sordi sõelumissarja ja tsükloni *9* kaudu kogumissalve. Sõelumissarjale *4* jäänud jahvatis suundub kahele poole: kliidena läbi tsükloni *8* kogumissalve ja läbi tsükloni *4* rabamisseadmestikku (löökmasinasse ПМО-250 kliidest viljajäägi väljarabamiseks ja sõelumissarja *5*). Rabamisseadmestikust satuvad kliid kogumissalve, II sordi jahu aga suundub sõelumissarja *3*, tsükloni *6*, II sordi sõelumissarja ja tsükloni *9* kaudu samuti kogumissalve.

Suruõhktõstuki töötamisel satub osa jahvatisest õhutorustikku, kust see tsüklonite patarei 4БЦ-450 poolt kinni püütakse ja suunatakse veelkordseks peenestamiseks valtsveski kolmandasse astmesse, puhastatud õhk aga puhutakse ventilaatoriga ВВД-7 välisõhku. Et vältida õhu sisseimemist tsüklonite kaudu, on tsüklonite allosas tõkestussiibrid *ST*, mis võimaldavad jahvatise suunamist järgmisse tehnoloogiaastmesse.

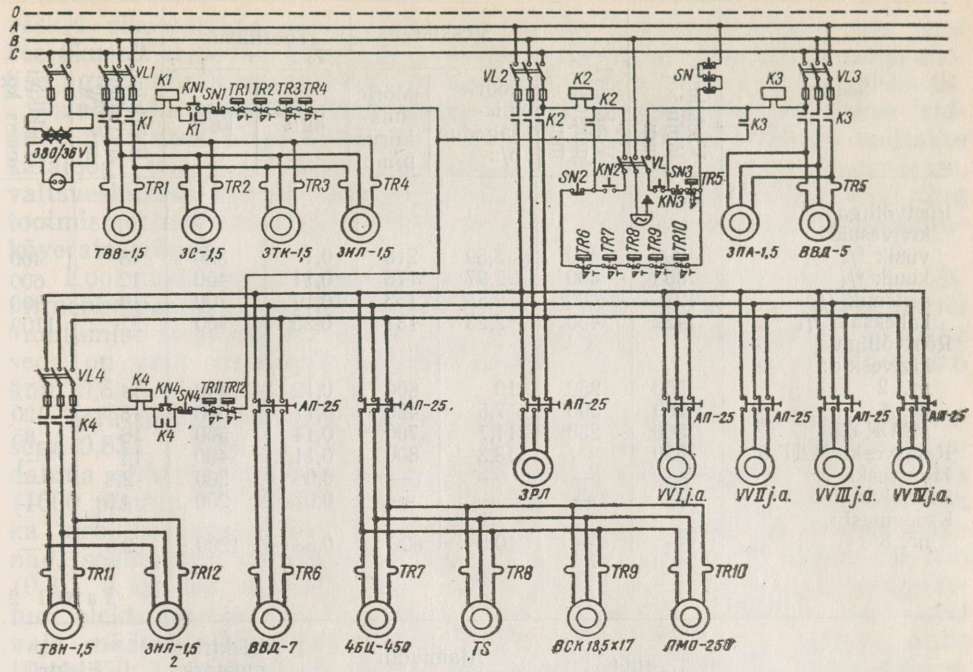
Kui jahvatatava teravilja üldkoguseks võtta 100%, siis eraldab sõelumissari *1* sellest jahuna vaid 40%, 60% aga suundub jahvatuse teise astmesse. Teisest sõelumissarjast saadakse jahu ligikaudu 30% teravilja üldkogusest jne. Viimase astme lõpus jääb järele kliisid 7% jahvatatava teravilja algkogusest.

Veskit, mille tootlikkus (teraviljas) on 20 t ööpäevas, teenindab juhtimispuldilt üks inimene. Joonisel 230 on esitatud agregaatvaltsveski АВМ-20 juhtimislülituse elektriskeem.

Enne agregaadi käivitamist lülitatakse vinnaklülitiga *VL* sisse elektrikõlisti. Vinnaklülitite *VL1* ja *VL3* sisselülitamisel on puhastusosakonna mootorite juhtimisahelad tööks ette valmistatud. Kontaktorite *K1* ja *K3* vooluringides olevatele käivitusnuppudele *KN1* ja *KN3* vajutamisel lülituvad sisse elektrimootorid ja toimub kõigi masinate ülesjooks.

Näiteks ventilaatori ВВД-5 ja kroovmasina ЗНЛ-1,5 *2* käivitamisel kujuneb läbi kontaktori *K3* mähise järgmine vooluring: faas *C*, vinnaklüliti *VL3*, kontaktori *K3* mähis, vinnaklüliti *VL*, juhtimisnupud *KN3* ja *SN3*, termorelee *TR5*, avanevkontakt, rikkeseiskamisnupud *SN* ja faas *A*.

Jahvatusosakonna elektrimootorite käivitamiseks tuleb vajutada kontaktori *K2* mähise vooluringis olevale käivitusnupule *KN2*. Kontaktori *K2* rakendudes lülitub pinge jahvatusosakonna kogumislattidele ja kõik elektrimootorid lülituvad võrku. Agregaat on nüüd käivitatud ning vinnaklülititega *VL* katkestatakse hoiatussignaal. Kontaktorite *K2* ja *K3* mähised saavad nüüd toite oma blokeerkontaktide kaudu. Näiteks kontaktori *K2* vooluring on pärast vinnaklüliti *VL* väljalülitamist järgmine: faas *C*, vinnaklüliti *VL2*, kontaktori *K2* mähis, blokeerkontakt *K2*, seiskamisnupp *SN2*, termoreleede *TR6*, *TR7*, *TR8*, *TR9* ja *TR10* avanevkontaktid, rikkeseiskamisnupud *SN* ning faas *A*.



Joon. 230. Veski АВМ-20 elektriskeem

Agregaadi elektrilülituses on ette nähtud järgmised vajalikud blokeeringud:

1) ventilaatori ВВД-5 ja kogu jahvatusosakonna mootoreid ei tohi sisse lülitada hoiatussignaali andmata;

2) jahvatusosakonna mootorite sisselülitamine pole võimalik, kui kontaktori *K2* peakontaktid on avatud;

3) seiskamisnupule *SN* vajutamisel (rikkeseiskamine) lülituvad välja kõik jahvatus- ja puhastusosakonna mootorid;

4) peakontaktidega — masinate ЗС-1,5; ЗТК-1,5; ЗНЛ-1,5 *1* ja *2*; 4БЦ-450; ВСК-18,5 × 17 ja ПМО-250 mootorite juhtimisel.

Elektrimootoreid kaitsevad sulavkaitsmed, termoreleed ning automaatlülitite soojus- ja magnetriivistid. Ventilaatoreid ВВД-5 ja ВВД-7, tsüklonite patareid 4БЦ-450, valtsveskit ВСК-18,7 × 17 ning töömasinat ПМО-250 käitava mistahes mootori liigkoormusel lülituvad välja kõik jahvatusseadmestiku, ventilaatori ВВД-5 ja õhujugapuhastite ЗПА ning puhastusosakonna mootorid.

Puhastusosakonna masinate ТВВ-1,5; ЗС-1,5; ЗТК-1,5 ja ЗНЛ-1,5 mistahes mootori liigkoormusel lülituvad võrgust välja kõik need mootorid.

Peenestusmasinate liigitelu ja veskiseadmete iseloomustusandmed. Tangu, jahu ja segasööta tootvate majandite põhilised ning kõige energiamahukamad tehnoloogiaseadmed on peenestusmasinad (valtsveskid, vasarpurustid, kiviveskid).

Väikese tootlikkusega veskisse, mis teenindab üht majandit, paigaldatakse kiviveskid. Jahu-, hirsi- ja kruubiveskite andmed on esitatud tabelis 23.

Püülijahu tootvad ja suurema tootlikkusega kolhoosidevahelised

Tabel 23

Seade	Veskikivi läbimõõt mm	Veskikivi paksus mm	Veskikivi		Tootlikkus		Elektrimootori võimsus kW	Veskikivi mass kg
			pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kg/s	kg/h		
Püstvõlliga kiiviveskid:								
viisik $^{5}/_{4}$	890	400	3,59	215	0,1	350	8	400
kuuik $^{6}/_{4}$	1068	400	2,97	178	0,11	400	12	600
seitsmik $^{7}/_{4}$	1245	400	2,55	153	0,19	700	18	900
kaheksak $^{8}/_{4}$	1422	400	2,23	134	0,25	900	22	1100
Rõhtvõlliga kiiviveskid:								
nr. 2	550	250	10	600	0,12	450	14	75
nr. 4	760	300	7,5	450	0,17	600	18	120
ММЖ-0,5	560	250	11,7	700	0,14	500	16	85
Ketasveski МДГ-5	520	—	13,3	800	0,11	400	14	—
Hirsiveski	—	—	—	—	0,06	200	2,8	—
Kruubiveski	—	—	—	—	0,07	250	4,5	—
Kroovmasin nr. 3	—	—	10,3	620	0,33	1200	2,8	—

Tabel 24

Seade	Tootlikkus		Ajamivõlli		Elektrimootori paigaldusvõimsus kW	Elektrimootori tüüp
	kg/s	t/h	pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min		
Ohujugapuhastite patarei (ЗПА-1,5)	0,42	1,5	—	—	1	АО-32-4
Sõelur teravilja puhastamiseks lisanditest (ЗС-1,5)	0,42	1,5	5,34 ... 6,16	320 ... 370	0,6	АО-31-4
Ketastrióór (ЗТК-1,5)	0,42	1,5	0,917	55	1	АО-32-4
Kroovmasin (ЗНЛ-1,5)	0,42	1,5	10 ... 10,8	600 ... 650	1,7	АОЛ-42-6
Tigutransportöör (ТВВ-1,5 ja ТВН-1,5)	0,42	1,5	1 m/s		0,6 (2 tk.)	АО-31-4
Puhastusosakonna kõrgrõhuventilaator (ВВД-5)	0,42 m³/s	1500 m³/h	47,5	2850	4,5 7 (2 tk.)	АО-51-2 АО-52-4
Valtsveski (ЗМ)	70 kg kohta	1 cm ööpäevas	5,83 ... 7,17	350 ... 430	4,5 (2 tk.)	АО-51-4
Löökmasin (ПМО-250) kliidest viljajäägi väljarebimiseks	0,7	0,25	—	—	1	АО-32-4
Väikesemõõtmeline valtspink (ВСК-18,5 × 17)	25 kg kohta	1 cm ööpäevas	5,83 ... 7,17	350 ... 430	1,7	АО-41-4
Kuueastmeline sõelumissari (ЗРЛ)	—		3,0 ... 4,17	180 ... 250	1,7	АОЛ-42-6
Väljalaadimistsüklonite patarei (БР)	—		—	—	1,7	АО-41-4
Tsüklon УД-45 (4БЦ-450)	0,12	0,45	—	—	0,6	АО-31-4
Jahvatusosakonna kõrgrõhuventilaator (ВВД-7)	1 m³/s	3600 m³/h	45	2700	10	АО-62-2

veskid sisustatakse valtsveskite ja muude veskiseadmetega, mis oma keerukuselt erinevad tööstuslike veskite seadmetest vähe. Kolhoosidevahelise agregaatvaltsveski ABM-20 seadmete andmed on esitatud tabelis 24.

Jahu- ja kruubitööstusmasinate ajami elektrimootori võimsuse leidmine. Mistahes tüüpi kiviveskite ajami elektrimootori võimsus valitakse kataloogi või veski katsetamisandmete järgi. Mõnede viljasalvedesse, valtsveskitesse, kruubi- ja segasöödatehastesse paigaldatud masinate ning tootmismehhanismide ajami elektrimootori võimsus arvutatakse koormuskõverate põhjal.

Koormuskõverate kujundamisel arvestatakse elektrimootorite ja täiturmehhanismide koostöö iseärasusi, mehhanismide takistusmomendi muutumise iseloomu ja siirdeprotsesside kulgemise seaduspärasusi. Kõike seda on vaja arvestada koormamisteguri valimisel, mis on piires 0,6 kuni 0,8.

Teraviljatöötlemismasinad on aeglasekäigulised — pöörlemissagedusega 0,833...8,33 p/s (50...500 p/min). Nende staatiline moment, taandatuna elektrimootori võllile, näiteks pöörlemissagedusele $n_s = 16{,}7$ p/s (1000 p/min), on väike — 0,3...0,5 Nm (0,03...0,05 kgf·m); väike on ka tarbimisvõimsus (0,2...0,3 kW). Erandi moodustavad mõned masinad, sealhulgas valtsveskid, mille staatiline moment $M_s = 8...20$ Nm (0,8...2 kgf·m). Enamiku masinate inertsmoment ületab neile paigaldatud elektrimootori inertsmomendi kümneid kordi. Käitises on vahel vaja määrata töömasinate väljajooksu (isepidurdumise) kestust, mille järgi võib hinnata nende remondi kvaliteeti, häälestatust ja korrasolekut. Selleks võrreldakse katsetatava ja näidiseks võetud masina väljajooksukestust. Suurema väljajooksukestusega masin on parem, sest tema hõõrdekadu on väiksem. Eri masinate väljajooksukestus on erisugune; valtspingil on see ligikaudu 35 s, sõelumissarjal aga 8 s.

Teravilja jahvatamine on veskites kõige energiamahukam töö. Sellele kulutatakse peaaegu $^2/_3$ tarbitavast energiast. Seepärast on oluline teha kindlaks seadmestiku kõige soodsam talitlusolukord. Mitte vähem energiamahukas on suruõhktransport. Energiakulu vähendamiseks on vaja kõrvaldada selle transpordi põhiline puudus — väike kasutegur.

Uue tehnoloogia väljatöötamisel, olemasoleva täiustamisel ja ajakohastamisel ning uute masinate konstrueerimisel tuleb tingimata arvestada elektrienergia säästmise võimalusi.

Käsitleme silopealse transportööri vankri koormuskõvera kujundamist (joon. 231). Tuntud valemite järgi arvutame kogu taandatud inertsmomendi J. Mootori inertsmomendi J_m mõju arvestamiseks leiame ligikaudselt tema võimsuse:

$$P = \frac{F_t v}{\eta_ü^2} \text{ W}, \tag{396}$$

kus F_t on vankri liikumise kogu takistusjõud N;

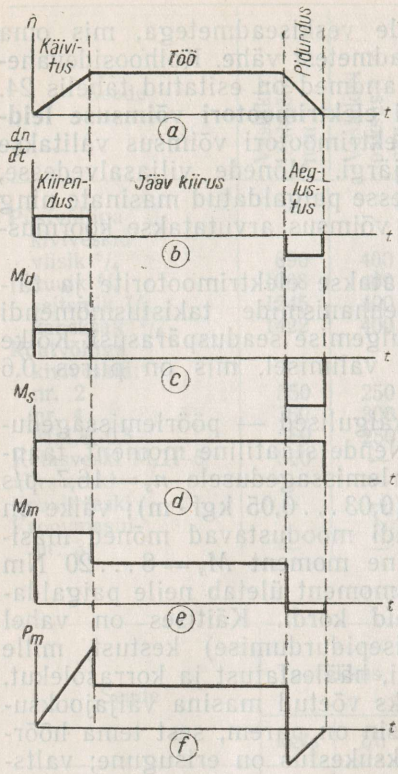
v — liikumiskiirus m/s;

$\eta_ü$ — ülekannete kasutegur.

Joonisel 231, *a* on esitatud antud tingimuste järgi kujundatud kiiruse (pöörlemissageduse) graafik, joonisel 231, *b* aga kiirenduse (pöörlemissageduse muudu) graafik.

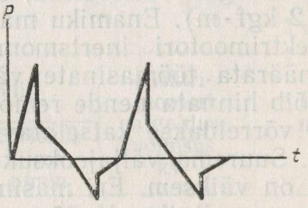
Lihtsustamiseks eeldame, et mootori moment käivituse ja pidurduse kestel ei muutu. Järelikult muutub ka kiirus lineaarselt.

Leidnud taandatud inertsmomendi ja kiirenduse, arvutame dünaamilise momendi. Kuna eeldatakse, et süsteemi kiirendus on jääv, siis on dünaamiline moment



Joon. 231. Diagramm silopealse transportööri vankri elektriajami koormuskõvera leidmiseks

Joon. 232. Segasöödatehase pressi koormuskõver



$$M_d = 2\pi J \frac{dn}{dt} \qquad (397)$$

samuti jääv (joon. 231, *c*).

Ülesjooksu vältel on see moment positiivne, pidurduse ajal aga negatiivne.

Staatilise momendi leiame valemiga

$$M_s = F_a R, \qquad (398)$$

kus F_a on arvutuslik jõud N;

R — hõõrderaadius m,

ja taandame selle mootori võllile.

Mootori poolt arendatav moment $M_m = M_s \pm M_d$ on kujutatud joonisel 231, *d*.

Joonisel 231, *f* on esitatud elektrimootori võllil arendatava võimsuse koormuskõver. Võimsuse igal hetkel saame vastava momendi ja kiiruse (pöörlemissageduse) korrutisena:

$$P = M_m 2\pi n. \qquad (399)$$

Suurt huvi pakub joonisel 232 esitatud segasöödatehase pressi koormuskõver. Nagu koormuskõveralt nähtub, võib koormust vaadelda kui vaheajalist. Segasöödatehaste presside ajami elektrimootori võimsuse arvutamisel tuleb arvestada siirdeprotsesse.

Sõelumissalve käitamiseks vajaliku elektrimootori võimsuse arvutamine. Nüüdisaegsetes veskites kasutatakse teravilja jahvatussaaduste sorteerimiseks (sõelumiseks) sõelumissarju. Sõelakered sooritavad rõhtasendis ringkulgliikumist. Jahvatussaadused, nihkudes mööda sarja

sõelu, pudenevad sõelalt sõelale ülevalt alla ja eralduvad järk-järgult mitmesse rühma, mis erinevad üksteisest osakeste suuruse poolest.

Joonisel 233 on esitatud jäiga käitusvõlliga tasakaalustuva sõelumissarja kinemaatikaskeem.

Sõelumissarja värtna väikseima võimsuse P_v võime leida valemiga

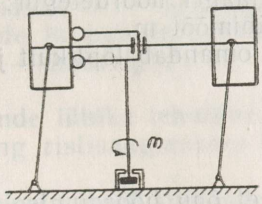
$$P_v = P_s + P_h + P_{\bar{o}}, \tag{400}$$

kus P_s on jahvatussaaduse ning sõelte ja põhjade vahelise hõõrde ületamiseks vajalik võimsus;

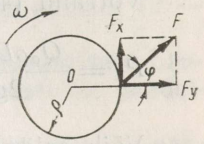
P_h — käivitusmehhanismi alumise laagri hõõrde ületamiseks vajalik võimsus;

$P_{\bar{o}}$ — õhu hõõrdumise (ventilatsioonikao) ja üksikosade hõõrde ületamiseks vajalik võimsus.

Joon. 233. Tasakaalustuva sõelumissarja kinemaatikaskeem



Joon. 234. Jahvatussaaduse ja sõela vahelise hõõrdejõu jagunemine



Jahvatussaaduse ning sõelte ja põhjade vahelise hõõrde ületamiseks vajalik võimsus (joon. 234) on tingitud hõõrdejõust

$$F = Q_s f_s, \tag{401}$$

kus Q_s on jahvatussaaduse kaal N;[1]

f_s — jahvatussaaduse ning sõelte ja põhjade vahelise hõõrde keskmine taandatud hõõrdetegur.

Siis

$$P_s = Fv \sin \varphi. \tag{402}$$

Et

$$v = \omega \varrho \quad \text{ja} \quad \sin \varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{g f_s}{\omega^2 \varrho}\right)^2},$$

siis

$$P_s = Q_s f_s \omega \varrho \sqrt{1 - \left(\frac{g f_s}{\omega^2 \varrho}\right)^2}. \tag{403}$$

Alumise laagri hõõrde ületamiseks vajalik võimsus leitakse võrrandiga

$$P_h = M_h \omega. \tag{404}$$

Moment M_h on tingitud radiaalreaktsioonist alumises laagris, mille ilma

[1] See on leitav avaldisega $Q_s = m_s g$, kus m_s on jahvatussaaduse mass kg ja $g = 9{,}81$ m/s² — raskuskiirendus. *Tõlk.*

jahvatussaaduse toimet arvestamata võib ligikaudselt leida võrrandiga

$$R_y = Q_a \varrho \left(\frac{\omega^2}{g} - \frac{1}{l_r} \right), \tag{405}$$

kus l_r on käitusmehhanismi riputuse pikkus.
Jättes arvestamata suuruse $1/l_r$, saame:

$$R_y = Q_a \frac{\varrho \omega^2}{g}. \tag{406}$$

Siis

$$M_h = R_y f \frac{D}{2} = \frac{Q_a \varrho f \omega^2 D}{2g}, \tag{407}$$

kus f on alumise laagri hõõrdetegur;
D — vända läbimõõt m.
Võrrand (404) omandab lõplikult järgmise kuju:

$$P_h = \frac{Q_a \varrho D f \omega^3}{2g}. \tag{408}$$

Võib eeldada, et õhu hõõrdumise ja üksikosade hõõrde ületamiseks vajalik võimsus

$$P_{\bar{o}} = 0{,}1 (P_s + P_h). \tag{409}$$

Sõelumissarja individuaalajami korral leitakse elektrimootori nimivõimsus võrrandiga

$$P_n = \frac{P_v}{\eta}, \tag{410}$$

kus η on elektrimootori ja värtna vahelise ülekande kasutegur (arvesse on võetud kadu ülemises laagrisõlmes).

Jahu- ja kruubitööstuse iseloomulikud erisused ning nende mõju elektrimootori ja juhtimisaparatuuri valikule. Maaveskid jagunevad ajami tüübi järgi vesi-, tuule-, auru- ja elektriveskiteks ning sisepõlemismootoriga käitatavateks veskiteks.

Elektriveskid on kõige tootlikumad ja ökonoomsemad. Nendes veskites on kõik rasked tööd mehhaniseeritud. Kõikidel masinatel ja mehhanismidel on individuaalelektriajam, mis tagab katkestamatu töö, parendab tootmise sanitaarolukorda ja suurendab usaldatavust ohutustehnika seisukohalt.

Veskite elektrimootoreid ja teisi elektriseadmeid võib toita mistahes elektrienergiaallikast, näiteks trafoalajaamast, iseseisvast rändvõi paiksest elektrijaamast.

Jahu- ja kruubitööstuskäitistes ning viljasalvedes saastub tootmisruumide õhk jahutolmuga. Õhus hõljudes muutub see tolm plahvatusohtlikuks. Süttimist või plahvatust võib põhjustada seadmete kuumenenud tööpindade kõrge temperatuur, metallosadevahelise löögi või hõõrde tagajärjel tekkinud säde, elektrilahendus. Seepärast soovitatakse ruumidesse, kus töödeldakse ja säilitatakse plahvatusohtlikku tolmu eralda-

vaid aineid, paigaldada kinnise plahvatusohutu ehitusega elektrimootorid. Kaitstud elektrimootoreid võib paigaldada eeskätt selleks eraldatud tolmutihedatesse, tulekindlatesse, õhustatavatesse tuulekojaga kambritesse. Kambri uks peab olema õhutihedalt suletav.

§ 4. Puidutöökodade tööpinkide elekterkäitus

Kolhooside ja sovhooside puidutöökodades remonditakse põllumajandusseadmeid ning veovahendeid, valmistatakse pakendeid, mööblit, aknaraame, ehis- ja põrandaliiste, põrandalaudu ning lae- ja vaheseinalaudu. Seepärast sisustatakse töökojad vastavate puidutöötlemispinkidega ja varustatakse vajalike puidutööriistadega. Neid pinke käitatakse põhiliselt elektriajamiga.

Joonisel 235 on näitena esitatud puidutöökoja tehnoloogiaskeem ja elektriseadmete paigutus: *1* — pendelsaag, *2* — ketassaag, *3* — rihthöövelmasin, *4* — paksushöövelmasin, *5* — kombineeritud puidutöötlemismasin, *6* — vertikaalne aukude ja pesade puurmasin, *7* — elektripeitel, *8* ja *9* — elektrihöövlid, *10* — höövelpink, *11* — freesmasin, *12* — teritusmasin, *13* — saeraam.

Puidutöötlemismasinad ja nende lühike tehniline iseloomustus. Laudade, prusside ja kilpide piki- ning ristisaagimiseks kasutatakse pendelsaagi ja ketassaagi.

Puitosi ja -tooteid hööveldatakse täpselt mõõtude järgi riht- ja paksushöövelmasinaga ning elektrihöövlitega.

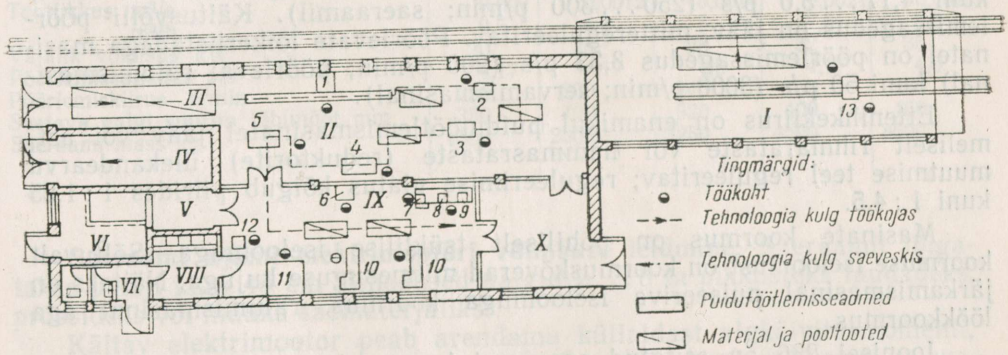
Puurimiseks ning mitmesuguses mõõdus ristkülikuliste aukude ja pesade tegemiseks puidusse on töökodades vertikaalne aukude ja pesade puurmasin ning elektripeitel.

Toodete tasapinnaline ja šablooni järgi töötlemine ning lihttappide sisselõikamine toimub tapilõikamisvankriga freesmasinal.

Laialdaselt kasutatakse kombineeritud puidutöötlemismasinaid, millega saab hööveldada, sooni lõigata, saagida ja puurida.

Höövelmasina terade, ketassaagide ning freeskettide teritamiseks ja ketassaagide hammaste räsamiseks peab töökojas olema teritusmasin.

Enamikul masinatel on lihtüksikajam. Nende masinate lõike- ja ettenihkemehhanisme käitab üldine elektrimootor. Uusimat tüüpi masinatel on kahemootoriline ajam. Elektrimootor ühendatakse masinaga painduva



Joon. 235. Kolhoosi (sovhoosi) puidutöökoja tehnoloogiaskeem:
I — saeveski; *II* — masinaosakond; *III* — kuiva materjali ladu; *IV* — kuivati; *V* — jäätmete ruum; *VI* — katlamaja; *VII* — sanitaarsõlm; *VIII* — rõivistu; *IX* — montaažiosakond; *X* — valmistoodangu ladu

ülekande kaudu (lame- või kiilrihmaga), esineb aga ka hammasülekandeid. Puidutöötlemismasinatel on eranditult kolmefaasilised asünkroonmootorid võimsusega 1 kuni 100 kW ja pöörlemissagedusega 12,5... ...50 p/s (750...3000 p/min). Kasutatakse ainult ühekiiruselisi, tavaliste käivitusomaduste ja kiirustunnusjoonega elektrimootoreid pingele 380/220 V.

Puidutöökoja seadmete lühike tehniline iseloomustus on esitatud tabelis 25.

Tabel 25

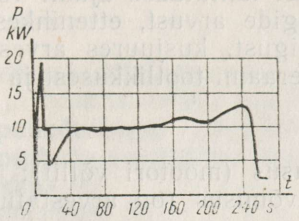
Puidutöötlemismasina			Elektrimootori			
nimetus	mudel	mass kg	tüüp	nimivõimsus kW	pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min
Pendelsaag	ЦМЭ-2	380	МД-2	3,2	48,3	2900
Ketassaag	Ц-5	700	АО-52-2	7	48,3	2900
Rihthöövelmasin	СФ-25-1	246,5	АО-32-2	1,7	48,0	2880
Üheküljeline paksushöövelmasin	СРЗ-4	750	АО-51-2	4,5 (võlliajam)	48,3	2900
			АО-41-6	1 (ettenihkeajam)	15,5	930
Kombineeritud puidutöötlemismasin	КДС	380	АО-42-4	2,8	24,5	1470
Vertikaalne aukude ja pesade puurmasin	МСВ-II	442	АО-41-2	1,7	48,0	2880
Elektripeitel	С-474	17,8	АН-52-2	0,8	45,0	2700
Käsi- või poolpaikne elektrihöövel	И-24А	14	АН-51-2	0,4	47,5	2850
Käsielektrihöövel	И-25	8,4	АН-51-2	0,4	47,5	2850
Freesmasin	ФШ-4	835	Т-42-2	4,5	47,8	2870
Teritusmasin	С-457	21	АН-41-2	0,18	47,2	2830
Saeraam	Р-65-1	3250	А-82-8	28	12,2	730

Tööorganite pöörlemissagedus on mitmesugune. Edasi-tagasi-liikuvate lõikeriistadega masinatel on ajamivõlli pöörlemissagedus 0,67... ...1,0 p/s (40...60 p/min; edasi-tagasi-liikuva teraga raiumismasinal) kuni 4,17...5,0 p/s (250...300 p/min; saeraamil). Käitusvõlli pöörlemissagedus on jääv, mittereguleeritav. Pöörlevate lõikeriistadega masinatel on pöörlemissagedus 3,33 p/s (200 p/min; pöörleval raiumismasinal) kuni 50 p/s (3000 p/min; servamismasinal).

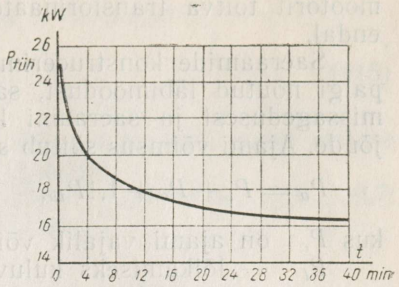
Ettenihkekiirus on enamikul puidutöötlemismasinatel jääv või astmeliselt rihmarataste või hammasrataste (reduktorite) ülekandearvu muutmise teel reguleeritav; reguleerimise ulatus kõigub piirides 1 : 1,25 kuni 1 : 4,5.

Masinate koormus on põhiliselt tsüklilise iseloomuga. Sõltuvalt koormuse iseloomust on koormuskõverad mitmesuguse kujuga. Näiteks on järkamismasinal pulseeriva iseloomuga koormus, raiumismasinal aga löökkoormus.

Joonisel 236 on esitatud saeraami koormuskõver. See vastab saeraami talitlusolukorrale 6,5 m pikkuste ja 20...40 cm jämeduste palkide saagimisel kaheks 25-mm lauaks, kaheks 50-mm lauaks ja üheks 140-mm prussiks. Ettenihkekiirus on 15...20 m/s; saagimisele kulub 5...7 min.



Joon. 236. Saeraami P-65-1 koormuskõver



Joon. 237. Saeraami РД-75-2 tühikäiguvõimsuse muutus sõltuvalt ajast

Vastavalt palgi ettenihkele kasvab vajalik võimsus 8,5 kuni 14 kW; kümne sae korral on võimsus 25 ... 28 kW.

Edasi-tagasi-liikuvate tööorganitega masinatel on koormuse ühtlustamiseks hooratas (saeraamid, edasi-tagasi-liikuva teraga raiumismasinad, pöörlevad raiumismasinad).

Elektrimootori käivitamisel masinate lõikeriistadel tavaliselt koormust pole. Joonisel 237 on esitatud saeraami РД-75-2 tühikäiguvõimsuse muutuse sõltuvus ajast pärast käivitamist. On iseloomulik, et väikseim tühikäiguvõimsus kujuneb saeraamil alles 35 minuti pärast.

On olemas püst- ja rõhtsaeraame. Eriti levinud on saeraamid, mille raam liigub koos saagidega püsttasandis edasi-tagasi (püstsaeraam). Rõhtsaeraame kohtame harvemini, peamiselt mööbli- ja vineeritööstuses.

Kolhoosides ja sovhoosides on laialdaselt kasutusel ühekorruselised saeraamid ЛРМ-79, ЛР-46, Р-65-1, ЛР-55, РПШ-55 avaga 550 ... 650 mm, mille andmed on esitatud tabelis 26.

Tabel 26

Iseloomustussuurus	Saeraami tüüp				
	ЛРМ-79	ЛР-46	Р-65-1	ЛР-55	РПШ-55
Tootlikkus m^3/s	0,007	0,0012	0,0014	0,0021	0,0023
m^3/h	2,5	4,3	5	7,5	8,2
Vajalik võimsus kW	20	25	28	32	35
Pöörlemissagedus p/s	4,17	4,17	4,0	4,17	4,0
Pöörlemiskiirus p/min	250	250	240	250	240
Saetava palgi suurim läbimõõt mm	350	400	520	400	400
Saeraami mass kg	1500	2300	3250	4500	8600

Saeraami ajami elektrimootori võimsuse leidmine. Saeraamil lõigatakse pikuti kuni 45 cm jämedused palgid 2 ... 8 m pikkusteks laudadeks, prussideks või muuks saematerjaliks.

Käitav elektrimootor peab arendama küllaldast algkäivitusmomenti, sest saagidega raam asub käivitamise eel sageli alumises surnud seisus.

Reduktor- või kiilrihmülekande korral kasutatakse kontaktrõngastega asünkroonmootorit, mis tagab sujuva käivitamise ja suure käivitusmomendi suhteliselt nõrga käivitusvooluga. See on eriti oluline siis, kui

mootorit toitva transformaatori võimsus on niisama suur kui mootoril endal.

Saeraamide konstrueerimisel lähtutakse ajami võimsuse arvutamisel palgi nõutud läbimõõdust, saagide arvust, ettenihkest, põhivõlli pöörlemissagedusest ja saeraami käigust, kusjuures arvestatakse ka hõõrdejõude. Ajami võimsus sõltub saeraami tootlikkusest ja väljendub valemiga

$$P_a = P_l + P_e + 1{,}1P_{tk}, \tag{411}$$

kus P_a on ajami vajalik võimsus (mootori võllil);
P_l — lõikamiseks kuluv võimsus (on arvestatud ka saagide nürinemist);
P_{tk} — tühikäiguvõimsus;
P_e — ettenihkevõimsus.

Lõikamiseks kuluv võimsus leitakse valemiga

$$P_l = Fv \text{ W}, \tag{412}$$

kus F on saagimiseks vajalik jõud N;
v — lõikekiirus m/s.

Saeraami poolt saagimisel tekitatav jõud arvutatakse valemiga

$$F = \frac{kb \Sigma h\Delta}{0{,}102H}, \tag{413}$$

kus k on saagimise eritakistus kgf/mm² (männi saagimise kohta vt. tab. 27);
b — saetee laius mm;
Σh — saeteede üldsügavus mm, väljendatud palgi keskkoha järgi ja arvutatav valemiga 414;
Δ — ettenihe mm;
H — raami käik mm:

$$\Sigma h = 0{,}75D_k z, \tag{414}$$

kus D_k on palgi keskmine läbimõõt mm;
z — saagide arv raamis;
0,75 — palgi kuju kasutustegur.

Kui võtta terava sae korral k väärtuseks üks, siis tuleb vastavalt tema töötamise kestusele arvestada järgmist parandustegurit:

sae töötamise kestus h	1	2	3	4
parandustegur	1,14	1,27	1,4	1,5

Teiste puiduliikide kohta võetakse k väärtus järgmise parandusteguriga: pärn 0,8, kuusk 0,9, lehis 1,07, kask 1,3, tamm 1,55, saar 2.

Tabel 27

Ettenihe ühe hamba kohta mm (u_z)	Saetee keskmine kõrgus (h_k) cm				
	12...16	18...22	24...28	30...34	36...40
0,2	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9
0,4	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8
0,6	6,5	6,9	7,3	7,7	8,1
0,8	6,1	6,5	6,9	7,3	7,7
1,0	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4
1,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2
1,4	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0
1,6	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9

Ettenihe Δ saeraamil saagimisel leitakse valemiga

$$\Delta = \frac{\Theta H}{\sigma l} t, \tag{415}$$

kus Θ on hambavahe pindalategur, mis võrdub hambavahe geomeetrilise pindala ja hambasammu ruudu suhtega;
σ — puidu pudedustegur (okaspuupuidu saagimisel 0,4 ... 0,7; kõvade puitude saagimisel 0,8 ... 1,5);
l — palgi pikkus m;
t — sae hambasamm m.

Sae hambasamm leitakse valemiga

$$t = \sqrt{\frac{\sigma}{\Theta} Esh}, \tag{416}$$

kus E on hamba tugevustegur (pehmete puitude saagimisel 0,3 ... 0,4, kõvade puitude saagimisel 0,2 ... 0,3);
s — sae paksus mm;
h — saetee sügavus mm.

Saeraami lõikekiirus on muutuv suurus, mille väärtus sõltub raami liikumise kiirusest. Raami liikumise kiirus vända raadiuse R korral leitakse valemiga

$$v = \omega R \left(\sin \varphi \pm \frac{\omega R}{2L} \sin 2\varphi \right). \tag{417}$$

Tavaliselt arvutatakse lõikekiirus lihtsustatud valemiga

$$v = \omega R \sin \varphi. \tag{418}$$

Lõikekiirus on suurim $\varphi = 90°$ korral, s. o.

$$v_{max} = \omega R = \pi D n. \tag{419}$$

Tegelikult arvutatakse lõikekiirus raami ühe käigu keskmise väärtusena. Sel juhul keskmine lõikekiirus

$$v_k = 2Hn, \tag{420}$$

kui aga $H = D$, siis

$$v_k = 2Dn, \tag{421}$$

kus H on raami käik m;
D — vända läbimõõt m;
ω — põhivõlli nurkkiirus rad/s;
n — põhivõlli pöörlemissagedus p/s.

Asetanud lõikamiseks kuluva võimsuse võrrandisse F ja v väärtused valemitest (413) ja (420), saame:

$$P_l = \frac{2kb \Sigma hn\Delta}{0{,}102} \cdot \text{W}. \tag{422}$$

Saeraami tühikäiguvõimsus leitakse järgmiste valemitega:

kuullaagrite puhul $P_{tk} = 1{,}97 \cdot 10^{-4}\, Gn^2R$ W, (423)
liugelaagrite puhul $P_{tk} = 1{,}44 \cdot 10^{-3}\, Gn^2R$ W, (424)

kus G on liikuvate osade kaal kgf;
R — vända raadius m.

Ettenihkevõimsus arvutatakse valemiga

$$P_e = \frac{Qu}{\eta_e} \text{ W}, \tag{425}$$

kus Q on palgi ettenihkele kuluv jõud N (võetakse ligikaudu võrdseks saagimiseks kuluva jõuga F);
η_e — ettenihkemehhanismi kasutegur;
u — ettenihkekiirus m/s, mis leitakse valemiga

$$u = \frac{u_z}{t} v, \tag{426}$$

kus u_z on ettenihe ühe hamba kohta mm (võetakse võrdseks 1,4 ... 2);
t — hambasamm m.

Kui asetada valemisse (425) Q asemele F väärtuse valemist (412), avaldub ettenihkevõimsus järgmise valemiga:

$$P_e = \frac{P_l u}{v \eta_e}. \tag{427}$$

Et

$$u = \frac{\Delta v}{H} \quad \text{ning} \quad v = 2Hn,$$

siis

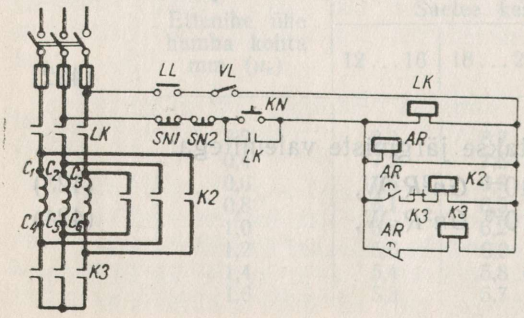
$$P_e = \frac{4P_l \Delta}{2H\eta_e}. \tag{428}$$

Arvestades valemit (427), võime valemi (411) asemele kirjutada:

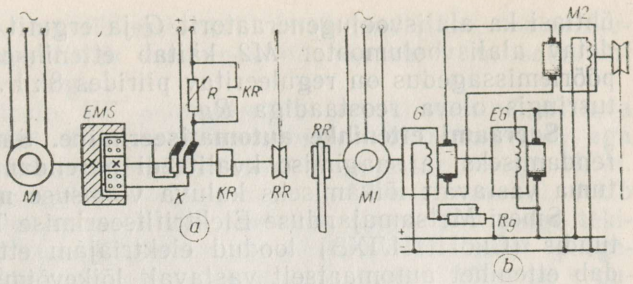
$$P_a = P_l \left(1 + \frac{\Delta}{2H\eta_e}\right) + 1{,}1P_{tk}. \tag{429}$$

Saeraami mehhanismide ajami juhtimislülitused. Joonisel 238 on esitatud saeraami РД-75-2 peavõlli ajami juhtimislülituse skeem.

Nupule *KN* vajutamisel lülitub sisse liinikontaktor *LK* ja toite saab aegrelee *AR* mähis. Aegrelee avanevkontakti kaudu lülitub sisse kontaktori *K3* mähis ja selle kontaktori avanevkontakt kontaktori *K2* mähise vooluringis avaneb. Mootor käivitub tähtlülituses mähistega. Pärast 5 ... ... 10 sekundi möödumist (sõltuvalt seatud viivitusest) aegrelee *AR* avanevkontakt avaneb ja sulguvkontakt sulgub, mistõttu kontaktor *K3* välja lülitatakse ja kontaktor *K2* sisse lülitatakse, millega mootori mähi-



Joon. 238. Saeraami РД-75-2 elektriajami juhtimislülituse elektriskeem



Joon. 239. Saeraami ettenihkemehhanismi elektriskeem: *a* — elektromagnetilise libistussiduriga; *b* — generaator-mootorsüsteemis

sed lülituvad kolmnurka. Kontaktorite *K3* ja *K2* üheaegset sisselülitumist väldib kontaktori *K3* avanev blokeerkontakt.

Lõpplüliti *LL* on paigaldatud raami väntmehhanismi piirdetara ukse külge, mistõttu mootori käivitamine piirdetara avatud ukse korral on võimatu. Et mootorit ei oleks võimalik käivitada saagide vahetamise ja korrastamise ning saeraami järelevaatuse ja remondi ajal, katkestatakse juhtimisahel neiks aegadeks lülitiga *VL*. Mootori mitmest kohast väljalülitamiseks on seiskamisnupud *SN1* ja *SN2*.

Toodetakse tõukelise ja pidevatoimelise ettenihkemehhanismiga saeraame. Tõukelise ettenihke korral pööravad sööterulle perioodiliselt hõõrdketta põrklingid. Pidevat ettenihet rakendatakse tavaliselt kiirekäigulistel saeraamidel. Pidev liikumine antakse sööterullidele üle põhivõllilt või eraldi elektrimootorilt kaheastmelise rihmaratta, reversiivse hõõrdvariaatori, hammas- ja kettülekande kaudu.

Hõõrdvariaator, mis on ehituselt lihtne ja töökindel, reguleerib mehhanismi kiirust väikeste astmete kaupa piires 0,04 kuni 0,2 m/s ning reverseerib ja seiskab mehhanismi. Liigkoormusel hõõrdvariaator libiseb ja väldib sellega mehhanismi osade purunemist suurte mehaaniliste jõudude korral.

Hõõrdvariaatoril on aga ka puudusi: kiiruse reguleerimise ulatus ja täpsus on väike, ebakvaliteetse valmistuse korral kulub ta kiiresti, ettenihke ning palgi tagasikäigu sisselülitamiseks vajab ta tunduvat jõudu.

Joonisel 239, *a* on kujutatud ettenihkemehhanismi elektriajami lülitus elektromagnetilise libistussiduriga *EMS*. Siduri veoketast käitab asünkroonmootor, veetav ketas aga paneb rihmaratta *RR*, kiilrihma ning hammas- ja kettülekande kaudu pöörlema sööterullid. Suurimale magnetvoole vastab vedava ja veetava ketta pöörlemissageduste väikseim erinevus. Sööterullide pöörlemissageduse reguleerimiseks muudetakse ergutusvoolu ulatuses 5 : 1, kahekiiruselise elektrimootori korral aga ulatuses kuni 10 : 1.

Antud koormusel võib säilitada jäävat pöörlemissagedust veetavale võllile paigaldatud kiirusrelee *KR* vahendusel. Kui siduri veetava ketta pöörlemissagedus väheneb, siis kiirusrelee *KR* kontakt sulgub ja sildab ergutusringis oleva takisti *R*. Magnetvoog suureneb ja pöörlemissagedus järelikult kasvab. Vastupidi, pöörlemissageduse suurenemisel relee kontakt avaneb ja lisatakisti lülitub ergutusringi, mistõttu magnetvoog ja pöörlemissagedus vähenevad.

Joonisel 239, *b* on kujutatud saeraami ettenihkemehhanismi generaator-mootorsüsteemi elektriajami lülitus. Saeraami elektrimootor *M1* käitab

ühtlasi ka alalisvoolugeneraatorit *G* ja ergutit *EG*. Generaatoriga *G* toidetav alalisvoolumootor *M2* käitab ettenihkemehhanismi. Mootori *M2* pöörlemissagedus on reguleeritav piirides 8 : 1 . . . 10 : 1 generaatori ergutusringis oleva reostaadiga *Rg*.

Saeraami ettenihke automatiseerimine. Saeraamide tootlikkuse suurendamiseks ja saagimise kvaliteedi parendamiseks peab ettenihe muutuma vastavalt lõikamiseks kuluva võimsuse muutumisele.

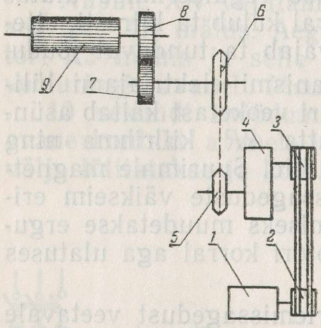
Siberi Metsamajanduse Elektrifitseerimise Teadusliku Uurimise Instituudis (СибНИИЛХЭ) loodud elektriajam ettenihkemehhanismile muudab ettenihet automaatselt vastavalt lõikevõimsuse muutumisele iga lõigatava palgi pikkuse ulatuses. Selle ajami kinemaatikaskeem on esitatud joonisel 240.

Ettenihkemehhanismi elektriajami põhimõtteskeem on esitatud joonisel 241. Sellesse lülitusse kuuluvad alalisvooluga toidetav sõltumatu ergutusega täiturmootor *M*, sõltumatu ergutusega alalisvoolugeneraator *G* ja generaatorit käivitav vahelduvvoolumootor *M2*.

Ettenihkemehhanismi täiturmootori pöörlemissagedust saab suurtes piirides reguleerida generaatorist täiturmootori ankrule antava pingega ja ühtlasi ka ergutusvooluga.

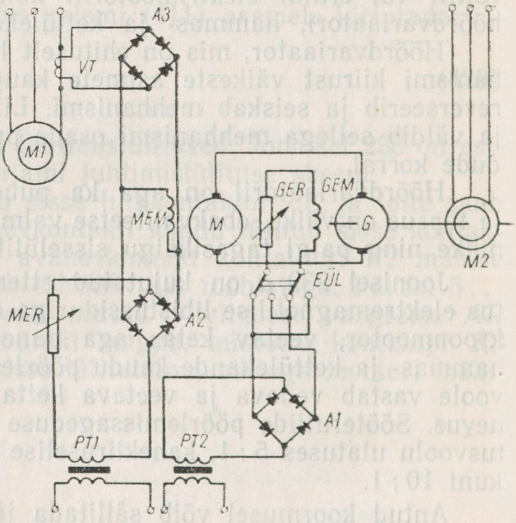
Ettenihkemootori algpöörlemissageduse määrab mootori ankrule rakendatav pinge. Ettenihet reguleeritakse vastavalt lõikevõimsuse muutumisele mootori ergutusvoolu muutmisega.

Ettenihkemootori pöörlemisagedust reguleeriv põhisuurus on saeraami käitava elektrimootori *M1* staatorivool, mis on võrdeline lõikamise käigus muutuva koormusega (ettenihkekiirus muutub pöördvõrdeliselt



Joon. 240. Eraldise alalisvoolumootoriga ettenihkemehhanismi kinemaatikaskeem:

1 — ettenihkemootor; *2* ja *3* — kiilrihmülekande rihmarattad; *4* — reduktor; *5* ja *6* — rullpuksketi tähtrattad; *7* ja *8* — silindrilised hammasrattad; *9* — eesmine alumine sööterull



Joon. 241. Ettenihkemehhanismi ajami elektrilülituse põhimõtteskeem:

M1 — saeraami käitav peaelektrimootor; *VT* — kompaundiv voolutrafo; *A1*, *A2* ja *A3* — seleenalaldid; *M* — alalisvooluga töötav sõltumatu ergutusega ettenihkemootor; *MER* — mootori ergutusreostaat; *PT1* ja *PT2* — pingetrafod; *G* — sõltumatu ergutusega alalisvoolugeneraator; *MEM* — ettenihkemootori ergutusmähis; *GEM* — generaatori ergutusmähis; *GER* — generaatori ergutusreostaat; *EÜL* — ettenihkemootori pöörlemissuuna ümberlüliti; *M2* — generaatorit käitav elektrimootor

staatorivooluga). Selleks ettenihkemootorit kompaunditakse: ettenihkemootori põhiergutusvooluga liitub veel vool, mis on võrdeline saeraami käitava mootori staatorivooluga.

Kompaundiva voolutrafo *VT* primaarmähis on ühendatud käitava mootori *M1* staatorimähise ühe faasi vooluringi, sekundaarmähis aga on ühendatud alaldi *A3* kaudu ettenihkemootori ergutusmähisega *MEM*.

Kui trafo *VT* primaarmähist läbib mootori *M1* koormusvool, tekib trafo sekundaarmähises koormusvooluga võrdeline pinge. See pinge tekitab ergutusmähises *MEM* lisavoolu, mis liitub sõltumatust allikast (pingetrafost *PT1* ja alaldist *A2*) saadava põhiergutusvooluga. Mõlemad ergutusvoolud tekitavad ühiselt resulteeriva magnetvoo, mis on võrdeline lõikamisele kuluva võimsusega.

Saeraami peaelektrimootori koormuse suurenemisel kasvab lõikamiseks vajaliku võimsuse suurenemise tõttu ettenihkemootori ergutusvoog ja ettenihkemootori pöörlemissagedus väheneb seni, kuni ajami peamootori koormus on uuesti saavutanud nõutud väärtuse. Kui lõikevõimsus muutub saetee üldsügavuse vähenemise tõttu väiksemaks, siis ettenihkemootori pöörlemissagedus ja ka ettenihe suurenevad. Seega muutub ettenihkekiirus automaatselt sõltuvalt lõikamiseks kuluvast võimsusest, sest saeraami käitava peaelektrimootori koormamine erineb ettenähtud koormustasemest.

Saeraami mootori nimivõimsusega võrdse koormamise korral on võimalik reguleerida ettenihkekiirust piirides +30 ... —20% põhikiirusest, mis vastab täielikult tehnoloogiale.

Ettenihkemootori suurim võimsus suurtel ettenihetel on 3 kW (mehhanismi tühikäiguvõimsus on 0,6 kW). Automatiseeritud ettenihkeajam suurendab saeraami tootlikkust 5 ... 6%.

Pikaaegne kasutamine tõendab, et mehhanism on väga töökindel.

Saeraami elektriajami ja ettenihkemehhanismi automaatjuhtimise kõrval rakendatakse nüüdisaegsetes palkide saagimise seadmetes ka automaatset ettenihkekiiruse ja saagide kaldenurga muutmist sõltuvalt ajami tarbimisvõimsusest, palkide söötmise mehhaniseerimist ja automatiseerimist, prusside suunamist ja saeraami söötmist nn. mehaaniliste kätega.

Ketassaagide elektriajami vajaliku võimsuse arvutamine. Peale saeraamide kasutatakse palkide saagimiseks ühe- ja mitmesaelisi ketassaage. Ühesaelistesse ketassaagidesse söödetakse palke vankril. Neid kasutatakse prusside väljasaagimiseks. Mitmesaelistesse ketassaagidesse söödetakse palke tugedega varustatud ringketiga, prusse — valtsidega.

Ettenihe ühe hamba kohta (sõltuvalt saeketta paksusest s) on räsatud hammaste korral (pikisaagimisel) järgmine:

$u_z = (0{,}05 \ldots 0{,}2)s$ — puhassaagimisel,
$u_z = (0{,}4 \ldots 0{,}5)s$ — tavalisel saagimisel,
$u_z = (0{,}2 \ldots 0{,}3)s$ — pehme puidu servamisel,
$u_z = (0{,}1 \ldots 0{,}2)s$ — kõva puidu servamisel,
$u_z = (0{,}6 \ldots 0{,}8)s$ — höövelhammaste korral.

Sae ajami võimsus P_s sõltub tooriku ketassaagi söötmise viisist ja ajami kasutegurist. Toorikuid võib ketassaagi sööta üksteise järel vahetpidamata, nagu see toimub pikikiudu saagimisel, või perioodiliselt, teatud vaheaegade järel. Seetõttu arvutatakse sae ajami elektrimootori võimsus kummalgi juhul erisuguselt.

Esimesel juhul, s. o. kestval talitlusel, sobib selleks valem

$$P_s = \frac{kbHu}{\eta} = Fv \text{ W}, \qquad (430)$$

kus k on tabelite ja nomogrammide järgi leitav lõikamise eritöö;
b — saetee laius mm;
H — saetee sügavus mm;
u — ettenihkekiirus m/s;
F — puutuja sihis mõjuv keskmine lõikejõud N;
v — lõikekiirus m/s.

Ettenihkekiirus u sõltub võimalikust puidu ettenihkest sae ühe hamba kohta u_z. On kindlaks tehtud, et ketassaagide soodsaim ettenihe hamba kohta metsamaterjali, näiteks okaspuupuidu pikisaagimisel on 0,8 ... ... 1 mm.

Lähtudes ettenihkest ühe hamba kohta u_z, võime leida mitmesuguste masinate ettenihkekiiruse. Ketassaagide ettenihkekiirus arvutatakse järgmiselt:

$$u = \frac{u_z n_z}{1000} \text{ m/s}, \tag{431}$$

kus n on sae pöörlemissagedus p/s;
z — sae hammaste arv.

Puutuja sihis mõjuv keskmine lõikejõud (lõikeringil) F leitakse valemiga

$$F = \frac{kbHu}{v}. \tag{432}$$

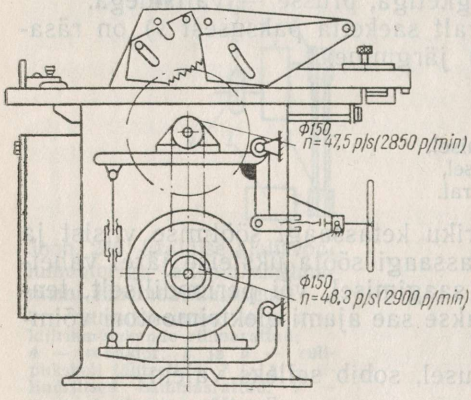
Ketassaagide lõikekiirus v kujutab endast eesmiste lõikeservade kiirust. See vastab saeketta ringkiirusele, kui ketta läbimõõt on D:

$$v = \pi D n, \tag{433}$$

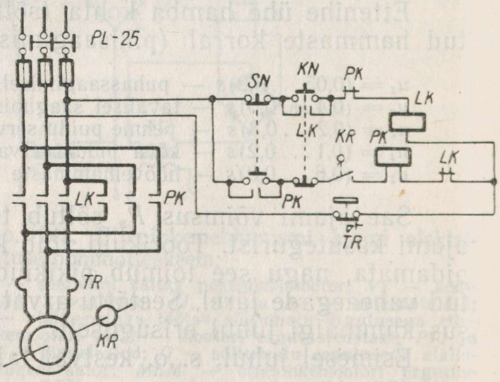
kus D on saeketta läbimõõt m;
n — sae pöörlemissagedus p/s.

Tavaliselt on ketassae lõikekiirus 40 ... 70 m/s. Toorikute perioodilisel ketassaagi söötmisel töötab mootor vaheajalises talitlusolukorras. Mootor valitaksegi selle talitlusolukorra jaoks.

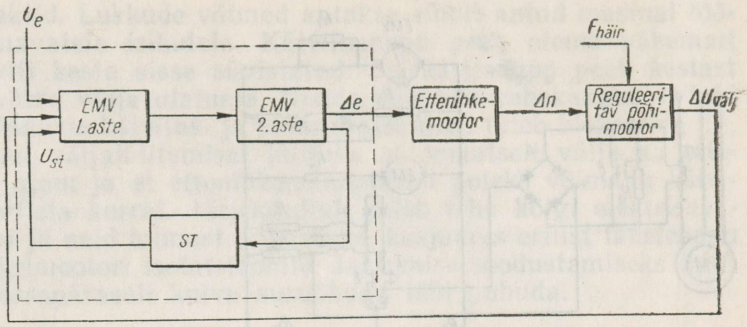
Ketassae elektriajami juhtimine. Joonisel 242 on esitatud pingi Ц-6 kinemaatikaskeem. Saevõlli käitab ketassae alusesse paigaldatud elektrimootor kahe kiilrihma kaudu. Mootor toetub alusplaadile, mis on liigendite kaudu kinnitatud ketassae ja saevõlli toetusplaadi külge. Saevõlli



Joon. 242. Ketassae Ц-6 kinemaatikaskeem



Joon. 243. Ketassae Ц-6 elektriajami juhtimislülituse põhimõtteskeem



Joon. 244. Ettenihkekiiruse automaatregulaatori lahterskeem

saab rattakesega kruvi ja hoova abil üles-alla nihutada. Saevõlli tõstmisel või langetamisel nihkub ka mootori alusplaat koos mootoriga, millega tagatakse rihmarataste jääv vahekaugus. Pingi ajami elektrimootori juhtimis- ja kaitseaparatuur on paigaldatud alusele kinnitatud kappi.

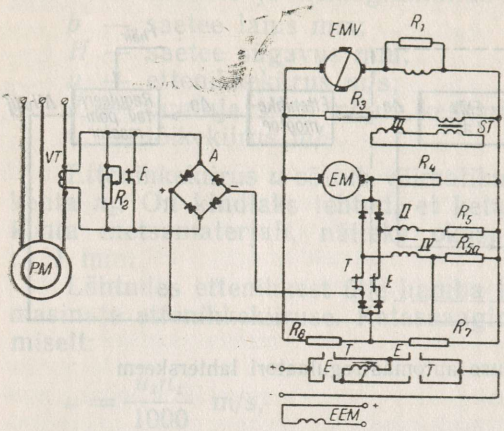
Pinki juhitakse nupukilbilt KC1-22 (joon. 243). Juhtimisahel pingestatakse pakettlüliti *PL-25* käepideme pööramisega sisselülitatud asendisse. Käivitusnupule *KN* vajutamisel saab toite liinikontaktori *LK* mähis ja kontaktori rakendudes mootor käivitub. Kui mootor on saavutanud normaalse pöörlemissageduse, sulgub kiirusrelee *KR* kontakt ja valmistab ette pidurduskontaktori *PK* vooluringi.

Seiskamisnupule *SN* vajutamisel jääb kontaktori *LK* mähis pingeta, samal ajal aga pingestub kontaktori *PK* mähis, mis kutsub esile mootori vastulülituspidurduse. Kui mootori pöörlemissagedus on vähenenud teatud väärtuseni, siis relee *KR* sulguvkontakt taasavaneb, vabastades voolust kontaktori *PK* mähise, kontaktor ennistub ja mootor lülitub võrgust välja.

Ketassae ettenihkekiiruse automaatreguleerimine. Et lõikekiirus ei muutuks, on vaja reguleerida ketassael töödeldava materjali ettenihkekiirust. Ettenihkekiirust muudetakse astmeliselt, mõnikord ka sujuvalt. Enamasti reguleeritakse ettenihet käsitsi, kuid see on võimalik ainult suhteliselt püsiva talitlusolukorra puhul. Kiiresti muutuvate talitlusolukordade korral reguleeritakse ettenihkekiirust automaatselt.

Ketassae ettenihkekiiruse automaatregulaatori lahterskeem on esitatud joonisel 244. Automaatregulaator hoiab muutumatuna ka peaelektrimootori võimsuse. Regulaatori põhisõlmed on: saevõlli käitav vahelduvvoolumootor (see põhielektrimootor ongi reguleeritav), ristvälja-elektrimasinvõimendi *EMV* ja täiturmehhanism — ettenihkeajami alalisvoolumootor, mille pöörlemissagedus määrab materjali ketassaagi söötmise kiiruse.

Anduriks on voolutrafo *VT* (joon. 245), mille primaarmähis on ühendatud põhielektrimootori staatoriringi ühte faasi. Trafo sekundaarmähisest suundub vool potentsiomeetri R_2 ja seleenalaldi *A* kaudu elektrimasinvõimendi *EMV* ühte ergutusmähisesse — tüürimismähisesse *IV*. Etteandemähisesse *I* suunatakse sõltumatust allikast jääva tugevusega alalisvool. Voolu suund selles mähises on vastupidine voolu suunaga mähises *IV*. Masinvõimendi elektromotoorjõud, mis on võrdeline tema ergutusmähiste reguleeriva magneetimisergutusega, rakendatakse vahetult ettenihkemootori ankruringile. Mähis *III* on stabiliseerimismähiseks, mähist *II* aga kasutatakse ettenihkemootori reverseerimiseks ja pidur-



Joon. 245. Ettenihkekiiruse automaatreguleerimise elektrilülituse põhimõtteskeem

damiseks. Kontaktid *E* sulguvad edasiliikumisel, kontaktid *T* aga tagasiliikumisel.

Takistid R_4, R_5, R_6 ja R_7 piiravad ahelaid läbivaid voole. Takisti R_3 on stabiliseerimistrafo *ST* eeltakistiks.

Ettenihkemootori ergutusmähist *EEM* toidetakse sõltumatust toiteallikast väärtuselt ja suunalt muutumatu alalisvooluga.

Kui põhielektrimootori *PM* staatorivool ületab ettenähtud tugevuse, tugevneb temaga võrdeliselt ka vool tüürimismähises ja sellele vastavalt väheneb masinvõimendi magneetimisergutus, mis on võrdne mõlema mähise magneetimisergutuse vahega. Selle tulemusena alaneb masinvõimendi elektromotoorjõud ja seega ka ettenihkemootori *EM* harjadele rakenduv pinge ning väheneb tema pöörlemissagedus. Materjali ettenihkekiiruse vähenedes põhielektrimootori staatorivool nõrgeneb. Selle ülemäärane nõrgenemine aga kutsub esile masinvõimendi elektromotoorjõu ja materjali ettenihkekiiruse suurenemise. Regulaator hoiab põhielektrimootori võimsuse peaaegu muutumatuna (kõikumine 5% ulatuses). Reguleerimiskestus (siirdeprotsessi kestus) on 0,2 s; ettenihkekiiruse hetkeline ülereguleerimine on maksimaalselt 20%, põhielektrimootori voolu hetkeline tugevnemine aga 40%.

Puidutöötlemismasinate elektriajami käsitsemine. Puidutöötlemismasinate elektriajamite valikul ja käsitsemisel on vaja täita järgmisi nõudeid. Masinatel peab olema individuaalajam, võimaluse korral elektrimootori ja masina vahetu sidurdusega. Ülekannete olemasolu korral peavad lame- või kiilrihmad, samuti hammasrattad, tähtrattad, ketid ja teised seadeldised olema tõkestatud piiretega, milles on avatavad uksed või lükandseinad, mis võimaldavad piirde kiiret, ilma tööriistata (võtmeta, kruvitsata) avamist ülekanderihmade pealepanemiseks (mahavõtmiseks) ja masina hooldamiseks. Masina juhtimisseadised tuleb paigutada nii, et masinat ja tema sõlmi oleks võimalik töölise töökohalt kiiresti ning hõlpsasti käivitada ja seisata. Masinaid, mille teenindamise piirkond on ulatuslik, peab olema võimalik seisata mitmest kohast, käivitada aga ainult põhitöökohalt.

Tingimata tuleb vältida masina või tema üksikute sõlmede ja mehhanismide isekäivitumist. Masinate käivitamiseks ja seiskamiseks tuleb kasutada käepidemeta seadiseid — magnetkäiviteid nuppjuhtimisjaamadega, mis on paigutatud hõlpsasti käsitsetavasse kohta. Vinnaklüliteid ei tohi käivitusseadistena kasutada.

Magnetkäivititel peavad täiendavalt olema elektromagnetiliste luk-

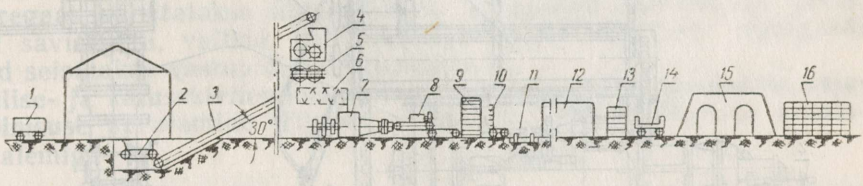
kude blokeerkontaktid. Lukkude võtmed antakse ainult antud masinal töötamise õigust omavatele isikutele. Käivitusnupp peab olema vähemalt 5 mm võrra käiviti kesta sisse süvistatud. Seiskamisnupp peab kestast vähemalt 3 mm võrra välja ulatuma. Nende nuppude vahekaugus ei tohi olla alla 50 mm. Masina käivitus- ja pidurdusseadised tuleb blokeerida nii, et lõikeriista ajami väljalülitamisel lülituks automaatselt välja ka ettenihkemehhanismi ajam ja et ettenihkemehhanismi poleks võimalik käivitada seisva lõikeriista korral. Järjekindlalt tuleb teha kõigi elektriseadmete järelevaatusi ja neid tolmust puhastada, kusjuures erilist tähelepanu tuleb pöörata elekrimootori isolatsioonile. Jahtumise soodustamiseks tuleb elektrimootorit korrapäraselt kuiva suruõhuga läbi puhuda.

§ 5. Tellise- ja katusekivitootmismasinate elekterkäitus

Tellisetootmise tehnoloogia. Telliste tootmisel tuleb tavaliselt teha järgmisi töid (joon. 246).

Karjäärist kaevandatud savi veetakse vagonettidega *1* söötekasti *2*, seejärel aga suunatakse kaldlinttransportööriga *3* kivieraldusvaltsidele *4* ja algtöötlemiseks siledatele valtsidele *5*. Kui savi on kivilisanditeta, siis kivieraldusvaltse *4* ei paigaldata. Pärast jahvatamist satub savi niisutamiseks savisegistisse *6* ja seejärel lintpressi *7*.

Pressist väljuv savipruss tükeldatakse automaatselt lõikeaparaadiga *8* plonnideks, mis laaditakse tõstukile *9*.



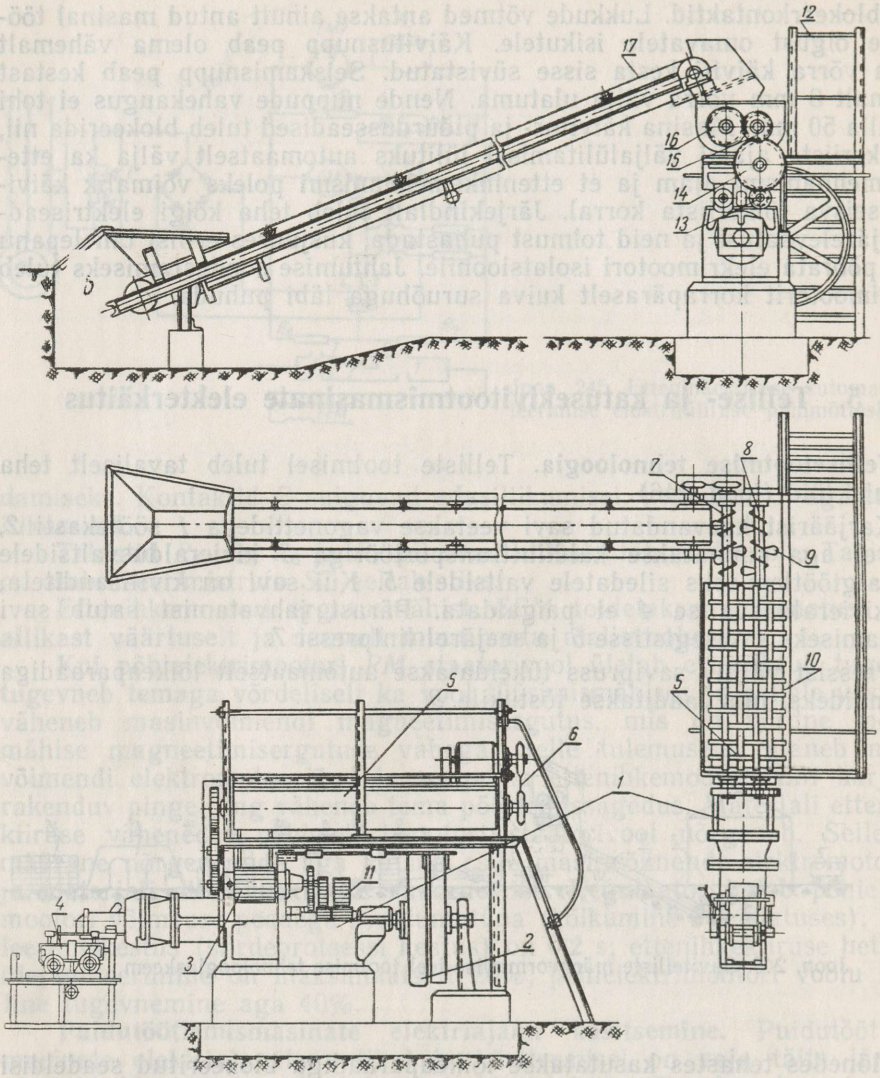
Joon. 246. Savitelliste märgvormimise teel tootmise tehnoloogiaskeem

Mõnedes tehastes kasutatakse lõikeaparaadiga blokeeritud seadeldisi plonnide automaatseks ladumiseks raamidele, seejärel aga riiulvagonettidele *10*.

Riiulvagonettidelt toimetatakse plonnid kärudega *11* kordustoimelistesse kuivatuskambritesse *12*. Kuivatuskambrites või pidevatoimelistes kuivatites kuivatatud toorikud laaditakse riiulvagonettidega *13* karusselkärudele *14*, mis toimetavad need põletamiseks ringahju *15*. Põletatud tellised virnastatakse laoplatsidel riitadesse *16* ja veetakse sealt ehitustele.

Tellisevalmistusagregaat CM-296A. Tööstuslikult toodetavatest telliste, katusekivide ja muude ehituskeraamikatoodete vormimisseadmetest, mida kasutavad kolhooside ja kolhoosidevahelised, samuti kohaliku tööstuse ja sovhooside käitised, on laialt levinud agregaat CM-296A (joon. 247). Seda agregaati kasutatakse tehastes, kus hooaja toodang on kuni 1,5 milj. tellist ühevahetuselise töö korral või 3 milj. tellist kahevahetuselise töö korral (NSVL Euroopa-osa keskvööndi jaoks). Agregaadi iseloomustusandmed on esitatud tabelis 28.

Agregaadil on järgmised sõlmed: «Kolhoosi»-tüüpi linttigupress, kahe-



Joon. 247. Tellisevalmistusagregaadi CM-296A üldvaade

Tabel 28

Iseloomustussuurus	
Tootlikkus plonni sekundis	0,42
plonni tunnis	1500
Elektrimootori võimsus kW	20
Pöörlemissagedus p/s (p/min):	
a) ajamivõllil	2,60 (156)
b) pressi tiguvõllil	0,65 (39)
c) savisegisti võllil	0,658 (39,5)
d) transportööri trumlil	0,658 (39,5)
Pressi silindri siseläbimõõt mm	300
Ajami rihmaratta läbimõõt mm	1120
Transportöörilindi liikumise kiirus m/s	0,56

võlliline savisegisti *5*, siledad valtsid *3*, kaldlinttransportöör *17* ja kahe keellõikuriga käsitükeldamispink *4*.

Toormassi niisutamiseks on savisegisti küna *5* kohal aukudega terastoru. Transportööri raam kinnitatakse savisegisti külge liigendiliselt, mis võimaldab muuta kaldenurka 0 kuni 20°. Agregaati käitab üldine elektrimootor pressi *1* rihmaratta *2* kaudu.

Pöörlemine antakse pressi ajamivõllile paigutatud hammasrattaga *11* üle tiguvõllile, seejärel aga valtsidele *3*. Savisegisti võll *8* saab pöörlemise valtsi võllile paigutatud hammasratta *13* kaudu, võll *7* aga hammasrataste *15* ja *16* kaudu. Transportööri *17* käitatakse savisegisti võllilt *8* kettülekande *6* kaudu.

Linttigupressi tootlikkus telliste valmistamisel (tellist sekundis) arvutatakse valemiga

$$Q = k\frac{\pi(D^2 - d^2)(t - \delta)n}{4g}, \qquad (434)$$

kus D on teo välisläbimõõt väljumiskohas m;

d — teo väljasuruva osa rummu keskmine läbimõõt m;

t — tigusamm väljasuruvas osas m;

δ — laba paksus m;

n — teo pöörlemissagedus p/s;

g — tihendatud massi kulu 1000 lihttellise kohta (võetakse võrdseks 2,5 m³);

k — tegur, mis arvestab teo kuju ning massi tagasisurumist teo äärte ja kesta vahelistesse piludesse, sõltuvalt seisukorrast (teo ja kesta kulumisest) on see 0,15 ... 0,25.

Agregaat käivitatakse algul tühjalt. Kõigepealt käivitatakse press, seejärel savisegisti, valtsid, kollerveski ja lõpuks söötekast. Agregaadi masinad seisatakse vastupidises järjestuses.

Tellise- ja katusekivitootmismasinaid käitavate elektrimootorite vajaliku võimsuse arvutamine. *Tigupressi käitava mootori võimsus* arvutatakse valemiga

$$P = k\frac{1{,}3 \cdot 60(D^2 - d^2)tqn}{\eta_1\eta_2\eta_3}\ \text{kW}, \qquad (435)$$

kus k on pressi ehitust arvestav tegur (rõhtsate tigupresside korral $k = 1$; koos savisegistiga töötavate vaakuumtigupresside korral $k = 1{,}8 \ldots 2$; ühel võllil paiknevate sööte- ja surveteoga vaakuumtigupresside korral $k = 1{,}5 \ldots 1{,}8$);

n — teo pöörlemissagedus p/s;

D — teo väljasuruva osa välisläbimõõt m;

t — tigusamm väljasuruvas osas m;

q — pressimise keskmine erisurve kgf/cm²;

η_1 — tegur, mis arvestab kadu massi deformeerimisele vastuvõtukastis, pressipeas ja savisegisti künas ($\eta_1 = 0{,}7 \ldots 0{,}75$);

η_2 — mootori ja pressiva tiguvõlli vaheliste ülekannete üldine kasutegur ($\eta_2 = 0{,}7 \ldots 0{,}8$);

η_3 — tegur, mis arvestab kadu söötevaltsi või labade ajamis ($\eta_3 = 0{,}95$).

Keskmise plastilisusega (II klassi) savide pressimise erisurve arvutatakse kogemusliku valemiga

$$q = k_1k_2(0{,}215w^2 - 10{,}62w + 130{,}5 + 10{,}8D^2)\ \text{kgf/cm}^2, \qquad (436)$$

kus k_1 on pea pikkusest sõltuv tegur;
k_2 — suudmiku pikkusest sõltuv tegur;
w — vormitava massi suhteline niiskus %;
D — teo väljasuruva osa välisläbimõõt m.
Tegurite k_1 ja k_2 väärtused on esitatud tabelis 29.

Tabel 29

Pea pikkus m	k_1	Suudmiku pikkus m	k_2
0,15	0,878	0,15	0,82
0,2	0,988	0,2	0,91
0,25	1	0,25	1

Väheplastiliste (III klassi) savide korral tuleb valemiga (436) saadud q väärtust suurendada 15%, eriti plastiliste (I klassi) savide korral aga vähendada 12,5%.
Tiguvõlli telgsurve leitakse valemiga

$$Q = qF \text{ N}, \tag{437}$$

kus q on pressimise keskmine erisurve N/m^2;
F — teo väljasuruva laba kasulik ristlõige m^2.
Materjalid liiguvad linttransportööridel rõhttasandis või tõusuga, mis mõnel materjalil ulatub 25°. Transportöörilindi kiirus valitakse sõltuvalt teisaldatavast materjalist.
Linttransportööride suhtes kehtib järgmine normaalkiiruste jada: 0,2, 0,5, 0,75, 1, 1,25, 1,5, 1,75, 2,5, 3 m/s.
Mahalaaduriteta linttransportööri võimsus käitava trumli võllil arvutatakse valemiga

$$P_v = (5{,}44Lvk + 1{,}47QL + 27{,}2QH)\,10^{-4} \text{ W}, \tag{438}$$

kus L on transportööri rõht- ja kaldosa kogupikkus (mõõdetud transportööri teljel otstrumlite vahel) m;
v — transportööri kiirus m/s;
H — transportööri otstrumlite vahelise tõusu kõrgus m;
Q — transportööri tootlikkus t/h.
Tegur k leitakse sõltuvalt lindi laiusest tabelist 30.

Tabel 30

Lindi laius m	0,4	0,5	0,6	0,75	0,9	1,1	1,3
Teguri k väärtus	26	32	36	47	62	77	93

Vastavalt transportööri pikkusele on soovitatav eelmise valemiga arvutatud võimsust suurendada järgmiselt:

kui $L < 15$ m, siis 20% võrra,
„ $L = 15 \ldots 30$ m, „ 10% „ ,
„ $L = 30 \ldots 45$ m, siis 5% „ .

Vajalik võimsus käitava rihmaratta võllil arvutatakse valemiga

$$P_r = k_1 \frac{P_v + P_{ml}}{\eta}, \tag{439}$$

kus P_v on võimsus käitava trumli võllil mahalaadurit arvestamata;
P_{ml} — mahalaaduri käitamiseks vajalik võimsus;
η — ülekande kasutegur (hammasülekannetel 0,75 . . . 0,85),
k_1 — transportööri töötingimusi arvestav tegur (1,1 . . . 1,2).

Telliste ja katusekivide tootmisel põllumajanduslikel ehitustöödel ja mitmetes teistes põllumajandusliku tootmise harudes kasutatakse puistematerjalide teisaldamiseks tigusid.

Tigutransportööri käitava elektrimootori võimsus arvutatakse valemiga

$$P = \frac{Q}{\eta}(lW + h) \text{ W}, \tag{440}$$

kus Q on tootlikkus kg/s;
η — ülekande kasutegur;
l — teo pikkus rõhtsihis m;
W — teoga teisaldatava materjali takistustegur;
h — tõstekõrgus m.

Mitmesuguste teoga teisaldatavate materjalide takistustegur W on esitatud tabelis 31.

Tabel 31

Materjal	Takistustegur
Liiv:	
sõmer	6
märg peenliiv	8
kuiv peenliiv	6
Tsement:	
räbutsement	4
portlandtsement	5
putsolaantsement	6
Lubi:	
tükiline kustutatud lubi	8
kustutamata lubi	7
kustutatud pulberlubi	2
Saepuru	0,25
Kivisõerãbu	2,8
Kivisõetolm	2
Kips	
pulbriline	10
tükiline	4,8

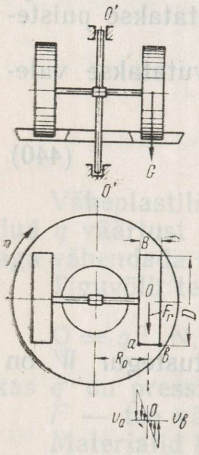
Tootlikkus Q arvutatakse valemiga

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \varphi n S \text{ kg/s}, \tag{441}$$

kus D on teo keerme läbimõõt m;
φ — teo renni täitetegur;
n — teo pöörlemissagedus p/s;
S — keermesamm m.

Peenel mitteabrasiivsel puistematerjalil (pulberlubi, söetolm) mille mahumass on kuni 600 kg/m³, võetakse täiteteguri φ väärtuseks 0,4. Muredal ja väikesetükilisel abrasiivsel materjalil (tsement, kips, tükiline lubi jt.), mille mahumass on kuni 1600 kg/m³, võetakse täiteteguri väärtuseks 0,25.

Kollerveski elektrimootori võimsus kulub rullide veerehõõrdejõu, rullide ja peenestatava materjali vahel tekkiva liugehõõrdejõu, kraapide ja materjali vahelise hõõrdejõu, samuti ajami ülekannetes, laagrites ja tugilaagris tekkiva hõõrdejõu ületamiseks.



Joon. 248. Skeem kollerveski elektrimootori võimsuse arvutamiseks

Rullide veerehõõrdumise ületamiseks kuluva võimsuse leidmisel tuleb arvestada, et veojõud F_r on rakendatud rulli keskmesse 0 (joon. 248):

$$F_r = k\frac{G}{R} = \frac{2kG}{D} \text{ N}, \tag{442}$$

kus k on veerehõõrdetegur;
G — rulli kaal N;
D — rulli läbimõõt m.

Teades veojõudu F_r, võime leida ka võimsuse:

$$P_1 = F_r v i = \frac{2kGvi}{D} \text{ W}, \tag{443}$$

kus v on rulli keskme 0 nihkumise joonkiirus (pöörlevate rullide korral) või liua joonkiirus (pöörleva liua korral, mille raadius on R_0);

$$v = 2\pi R_0 n,$$

i — rullide arv (tavaliselt $i = 2$).

Raadius R_0 võetakse võrdseks rulli kahekordse laiusega: $R_0 = 2B$. Siis kiirus

$$v = 2\pi n 2B. \tag{444}$$

Asetanud valemisse (443) v asemele tema väärtuse, saame:

$$P_1 = \frac{8kG\pi nBi}{D} \text{ W}. \tag{445}$$

Rullide ja peenestatava materjali vahel tekkiva liugehõõrdejõu ületamiseks kuluv võimsus P_2 leitakse järgmiselt.

Rulli kese 0 veereb liual, mille raadius on R_0, mööda ringjoont liugumata, silindrilise rulli kõik ülejäänud punktid aga liugudes.

On ilmne, et liugumiskiirus muutub rulli silindrilise pinna punktide a ja b vahel lineaarselt ning graafiliselt on liugumiskiiruste v_a, v_o, v_b diagramm sirge. Punkti a tee S_a püstvõlli ühe täispöörde jooksul pöörlevate rullide või pöörleva liua korral: $S_a = 2\pi(R_0 + \frac{B}{2})$. Punkti b tee sama aja jooksul: $S_b = 2\pi(R_0 - \frac{B}{2})$. Rulli keskme tee: $S_0 = 2\pi R_0$.

Diagrammilt on näha, et liugumiskiiruse absoluutväärtus on võrdeline rulli laiusega: mida suurem on rulli laius, seda suurem on liugumine ja seda suurem on ka kollerveski peenestav toime.

Punkti a etteliugumise suurim väärtus rulli laiuse B korral on $+\pi B$, punkti b tagasiliugumise suurim väärtus aga $-\pi B$.

Niisiis on rulli parempoolse osa punktidel 0-st kuni a-ni etteliugumise keskväärtus (diagrammi kolmnurgast) $+\pi B/2$, vasakpoolse osa punktidel 0-st kuni b-ni aga $-\pi B/2$.

Töö, mis kulub rulli liugehõõrdumise ületamiseks pöörlevate rullide võlli ühe täispöörde jooksul, väljendub valemiga

$$A_1 = f\frac{G}{2}\left(\frac{\pi B}{2}+\frac{\pi B}{2}\right) = \frac{\pi f G B}{2}. \tag{446}$$

kus G on rulli kaal.

Siit leiame vajaliku võimsuse:

$$P_2 = A_1 in = \pi f G B i n \text{ W}, \tag{447}$$

kus i on rullide arv;

n — püstvõlli pöörlemissagedus p/s;

B — rulli laius m.

Kogu vajalik võimsus kollerveski käitamiseks

$$P_0 = P_1 + P_2 = \frac{8kG\pi nBi}{D} + \pi f G B i n =$$

$$= \pi G n B i\left(\frac{8k}{D}+f\right) \text{ W}. \tag{448}$$

Võimsuse arvutamisel, mis kulub hõõrde ületamiseks kraapide ja materjali vahel ülekandeis, tugedes, tugilaagris ning laagrites, võetakse arvesse kasutegur 0,8. Siis omandab valem järgmise kuju:

$$P = \frac{P_0}{\eta} = 3{,}93 G n B i\left(\frac{8k}{D}+f\right) \text{ W}, \tag{449}$$

kus k on materjali veerehõõrdetegur, mis sõltub peenestatava materjali tükkide suurusest (1 ... 3 cm);

f — liugehõõrdetegur (kõvade kuivade kivimite puhul $f = 0{,}3$; niiskete savikate kivide puhul $f = 0{,}45$);

n — kollerveski võlli või liua pöörlemissagedus p/s;

i — rullide arv.

Savi- ja betoonisegisti ajam. Tooraine valmistatakse vormimiseks ette savisegistis.

Segisti vajalik võimsus, mille määrab tema talitlusolukord sõltub järgmistest ebasoodsatest juhustest:

täislaaditud koppa tõstetakse tühja trumli pöörlemisel;

seguga täidetud segamistrummel pöörleb tühja kopa laskumisel.

Leiame vajaliku võimsuse esimesel juhul. Sellele juhule vastab kopa asend tema ümberkallutamise alghetkel. Sel hetkel on laaditud kopa tõstmiseks vajalik võimsus kõige suurem ja väljendub valemiga

$$P_1 = 2F v_k \text{ W}, \tag{450}$$

kus $2F$ on kopa trossi kahe haru pinguldusjõud N;

v_k — kopa tõstekiirus m/s.

Siin

$$2F = \frac{Gb}{a} \text{ N}, \tag{451}$$

kus G on kopa ja materjali kogukaal N;

a — jõu F õlg kopa pöörlemiskeskme suhtes kallutamise alghetkel m;
b — jõu G õlg samal hetkel m.
Kopa tõstekiirus (trossikiirus) leitakse valemiga

$$v_k = \pi D_1 n \text{ m/s}, \tag{452}$$

kus D_1 on koppa tõstva trumli läbimõõt kuni trossi keskmeni m;
n — trumli pöörlemissagedus p/s.
Asendanud $2F$ väärtuse valemist (451) ja v_k väärtuse valemist (452) valemisse (450), saame:

$$P_1 = \frac{Gb\pi D_1 n}{2a} \text{ W}. \tag{453}$$

Tühja segamistrumli pöörlemiseks kuluva võimsuse arvutamisel lähtutakse vööde ja rullide vahelisest veerehõõrde- ning rulli võllide ja tugiveerelaagrite vahelisest hõõrdetakistusest.
Et ületada vöö veerehõõrdumist rullidel, on vaja iga rulli keskmesse rakendada jõud F_1, mis avaldub valemiga

$$F_1 = \frac{kQ}{4r\cos\alpha}, \tag{454}$$

kus Q on tühja trumli kaal N;
α — rulli kaldenurk kraadides;
k — pikkusena väljendatav veerehõõrdetegur m;
r — rulli raadius m.
Nelja rulli poolt tekitatava jõu F_1 kogumoment trumli suhtes

$$M_1 = \frac{k(R+r)}{r} \cdot \frac{Q}{\cos\alpha} \text{ Nm}, \tag{455}$$

kus R on segamistrumli raadius.
Võimsus, mida on vaja vööde ja rullide vahelise veerehõõrde ületamiseks, arvutatakse valemiga

$$P_2 = M_1 2\pi n = \frac{k2\pi n(R+r)}{r} \cdot \frac{Q}{\cos\alpha} \text{ W}. \tag{456}$$

Rulli võllide ja tugilaagrite vahelise hõõrdetakistuse ületamiseks vajalik võimsus saadakse valemiga

$$P_3 = M_2 2\pi n_1 \text{ W}, \tag{457}$$

kus M_2 on hõõrdemoment $\left(M_2 = \frac{Q}{\cos\alpha}\mu\frac{d}{2}\right)$,

n_1 — $n\,R/r$;
d — tugirullide võlli läbimõõt;
μ — veerehõõrdetegur (0,002 ... 0,003).
Järelikult

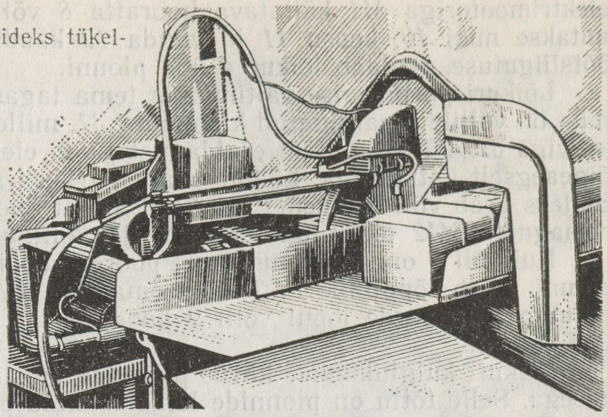
$$P_3 = \frac{\mu\pi n_1 dQ}{\cos\alpha} \text{ W}. \tag{458}$$

Segisti mootori koguvõimsus leitakse valemiga

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\eta} = \frac{Gb\pi nD_1}{a\eta} + \frac{Q2\pi n}{\cos\alpha r\eta}\left[k(R+r) + \frac{\mu dR}{2}\right], \tag{459}$$

kus η on ülekande üldine kasutegur.

Joon. 249. Saviprussi telliseplonnideks tükeldav poolautomaat



Saviprussi üksikuteks standardmõõtmeliste telliste ja väikesemõõtmeliste plokkide plonnideks lõikav *poolautomaatne tükelduspink* CM-38 on kujutatud joonisel 249, tema iseloomustusandmed aga esitatud tabelis 32.

Tükelduspink töötab koos lintpressiga ja koosneb kolmest põhisõlmest: ajamiga lõikeseadeldisest, suunuritel liikuvast lauast ja laua tagasikäigu ajamist.

Tigupressist väljuv ja lühikesel linttransportööril liikuv savipruss tükeldatakse automaatselt. Tükelduspinki käitavad kaks elektrimootorit koguvõimsusega 2,7 kW. Poolautomaatse tükelduspingiga on võimalik: 1) nihutada prussi kas liikumatul laual või koos lauaga; 2) tükeldada toorikut prussi liikudes koos lauaga, kusjuures samaaegselt liigub ka lõikur; 3) tõugata lahtilõigatud plonnid kõrvale ja viia laud tagasi lähteasendisse.

Pärast tükelduspingi ja lintpressi käivitamist kulgeb agregaadi töö järgmiselt (joon. 250).

Lintpressi suudmikust väljuv ja mööda lauda *1* libisev pruss lülitab survehoova *2* kaudu sisse lõpplüliti *LL1*, mis suleb elektromagneti *EM1* toiteringi. Elektromagneti ankur, tõmbudes pooli sisse, pöörab konksuga hooba *3*, nii et poolautomaadi laud *1* ja lõikur *4* võlliga *5* saavad liikuda koos prussiga.

Prussi ja laua liikumise algul lülitab võll *5* ümber lõpplüliti *LL2*, mis suleb elektromagneti *EM2* toiteringi. Elektromagneti ankur lülitab tõmmitsa *6* abil sisse pöördkiiluga ühepöördelise siduri *7*, mis sidurdab

Tabel 32

Iseloomustussuurus	
Tootlikkus plonni sekundis	13,9
plonni tunnis	5000
Ajamivõlli pöörlemissagedus p/s	6,67
pöörlemiskiirus p/min	400
Lõikekeelte arv	1
Elektrimootori võimsus kW	1,2

elektrimootoriga *M1* käitatava hooratta *8* võlliga *9*. Võlli *9* pöörlemine antakse nuki *10*, kepsu *11* ja vända *12* kaudu üle võllile *5*. Sooritades õõtsliigutuse, eraldab lõikur *4* ühe plonni.

Lõikuri purunemise vältimiseks tema tagasipöördumisel pärast lõikamist on võllile *9* paigutatud klotspidur *31*, mille pidurdusjõudu saab seada kruviga *32*. Pärast plonni eraldamist tuleb elektromagneti *EM2* toitering õigeaegselt katkestada. Lõikur peab iga kord sooritama ainult ühe lõike. Selleks peab võll *9* tegema iga kord ainult ühe pöörde, mida tagab elektromagneti *EM2* toiteringi blokeeriv ja võlliga *5* tüüritav lõpplüliti *LL3*.

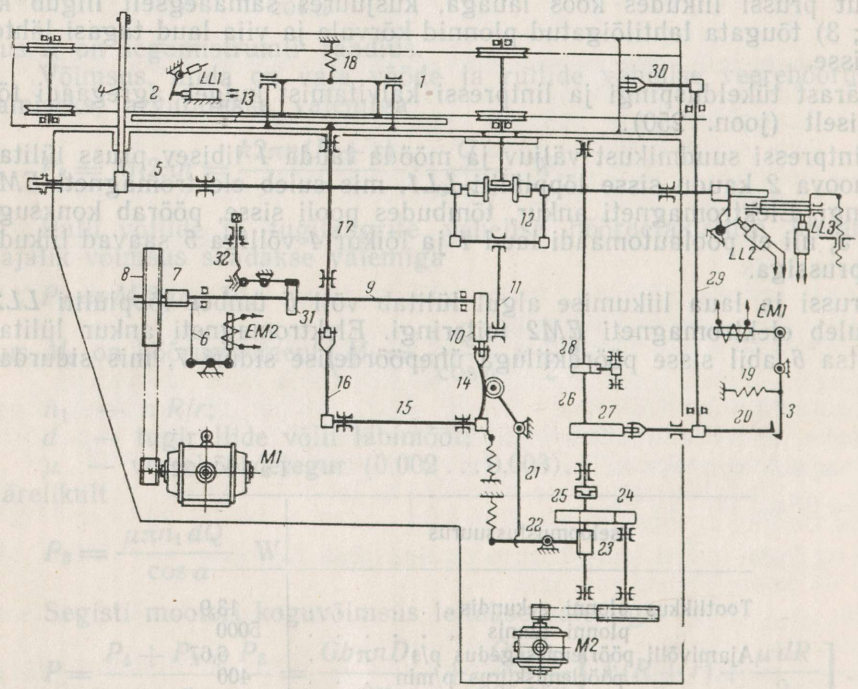
Kui võll *9* on sooritanud pool pööret ja lõikur *4* lõiganud järjekordse plonni, avab lõpplüliti *LL3* elektromagneti *EM2* toiteringi, sidur *7* aga lahutab iga pöörde lõpul võlli *9* hoorattast *8*. Nii sooritab võll *9* ainult ühe pöörde.

Lõikuri kulgliikumise kiirus plonnide lõikamisel on võrdne prussi kiirusega. Selle tõttu on plonnide lõiketasandid prussi pinnaga risti.

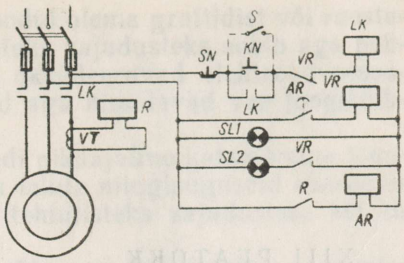
Eraldatud plonn tõugatakse laualt kõrvale plaadiga *13*, millele annavad kulgliikumise nukk *10*, rulliga hoob *14*, võll *15*, keps *16* ja tõukur *17*. Tõukeplaadi *13* viib lähteasendisse tükelduspingi laua all paiknev ja vedru *18* jõul töötav hoovastik.

Eraldatud plonni kõrvaletõukamisel vabaneb lõpplüliti *LL1* suruhoob *2*. Elektromagnet *EM1* jääb vooluta, hoob *3* langeb elektromagneti ankru kaalu ja vedru *19* pingulduse mõjul oma konksuga kaheõlalise hoova *20* kõverjoonelisele mühule, et takistada lähteasendisse tagasipöördunud laua liikumist seni, kuni liikuv pruss oma otsaga rakendab uuesti tegevusse lõpplüliti *LL1*.

Pärast lõigatud plonni kõrvaletõukamist viiakse laud koos lõikuriga laua tagastusmehhanismi abil lähteasendisse tagasi. Võlli *9* nukk *10* lüli-



Joon. 250. Saviprussi telliseplonnideks tükeldava poolautomaadi kinemaatikaskeem



Joon. 251. Purusti sööturi automaatreguleerimislülituse põhimõtteskeem

tab hoobade *14*, *21* ja *22* kaudu sisse laua tagastusmehhanismi ühepöördelise siduri *23*. Seejuures antakse liikumine elektrimootorilt *M2* rihmülekande hammasrataste paari *24* ja *25* ning pöördkiiluga *23* ühepöördelise siduri kaudu üle võllile *26*. Sellele kinnitatud nukk *27* viib laua võlli *29* küljes olevate hoobade *20* ja *30* abil algasendisse. Hoova *3* konks, haakudes kaheõlalise hoova *20* mühu taha, väldib laua ja sellel oleva saviprussi enneaegset edasiliikumist.

Võllile *26* on kinnitatud astmega ketas, mis koos põrklingiga *28* tõkestab võlli *26* pöörlemise pärast seda, kui ta on siduriga *25* laua tagastusajamist lahti sidurdatud. Samal ajal, nihkudes koos lauaga lähteasendisse, lülitab lõikuri võll *5* ümber lõpplüliti *LL3*, mis suleb uuesti elektromagneti *EM2* toiteringi.

Jahvatusmasinate sööte automaatreguleerimine. Jahvatusmasinate söödet reguleeritakse tavaliselt sööturi käsitsi sisse- ja väljalülitamisega. Agregaadid täituvad aga kõige paremini siis, kui söödet reguleeritakse automaatselt.

Purusti elektrimootori ühte faasi on ühendatud voolutrafo *VT* (joon. 251). Selle sekundaarringis on voolurelee *R*. Pärast sööturi käivitamist sillatakse liinikontaktori *LK* mähise vooluringis olev käivitusnupp *KN* lülitiga *S*. Sildeharu lülitatakse välja sundseiskamise korral ja töö lõpetamisel. Purusti koormuse suurenedes tugevneb elektrimootori staatorivool ja vool relee *R* vooluringis. Relee rakendub ja tema sulguvkontakt aegrelee *AR* mähise vooluringis sulgub. Kui purusti koormustipp vältab aegrelee *AR* viivituskestusest kauem, siis aegrelee sulgumisviivitusega sulguvkontakt vaherelee *VR* mähise vooluringis sulgub, vaherelee rakendub, tema avanevkontakt liinikontaktori *LK* vooluringis avaneb ning massi söötmine purustisse lakkab.

Purusti koormuse vähenedes vool voolutrafo *VT* sekundaarringis nõrgeneb, relee *R* sulguvkontakt aegrelee vooluringis taasavaneb ja kogu lülitus pöördub algseisundisse, mille puhul vaherelee *VR* avanevkontakt liinikontaktori *LK* vooluringis on suletud. Söötur rakendub uuesti töösse.

XIII PEATÜKK

PÕLLUMAJANDUSLIKUD ELEKTRISOOJENDUSSEADMED

§ 1. Elektriveesoojendid ja -aurutid

Elektroodveesoojendid. Loomakasvatusmajandeis tarvitatakse suurel hulgal kuuma vett söötade valmistamiseks, nõude ja lüpsiseadmete pesemiseks jpm. tootmisvajadusteks. Seafarmis kulutatakse kuivsööda valmistamisel ligikaudu 0,5 l kuuma vett 1 kg sööda kohta; piimakarjafarmis kulub kuuma vett 1,5 l, masinlüpsi korral aga kuni 3 l looma kohta ööpäevas.

Elektrifitseeritud majandeis, kus puudub odav kütus, kuid on käepärast odav elektrienergia, kuumutatakse vett elektrisoojenditega.

Veesoojendusseadmeist on kõige enam levinud nurgikukujuliste elektroodidega kolmefaasiline madalpingesoojendi.

Lihtsaimaks veesoojendiks on puittünn, milles on kolm isoleerainest alusele kinnitatud ja 120° nurga all painutatud terasplekist elektroodi. Selline elektroodide kuju ja paigutus vastab koormuse kolmnurklülitusele. Vesi soojeneb teda läbiva elektrivoolu toimel. Veesoojendi koormustakistuseks on vesi.

Vee elektrijuhtivus sõltub tema füüsikalis-keemilistest omadustest, lisanditest ja temperatuurist. Vee eritakistus kõigub laiades piirides: temperatuuril 20° C 2 kuni 100 Ω · m.

Vee eritakistus ϱ sõltuvus temperatuurist ϑ väljendub avaldisega

$$\varrho_\vartheta = \frac{40\varrho_{20}}{20 + \vartheta}, \qquad (460)$$

kus ϱ_{20} on vee eritakistus temperatuuril 20° C.

Vett läbiv vahelduvvool toimib hävitavalt vees elunevatesse mikroobidesse, kusjuures elektrivoolu toime sõltub voolutihedusest ja vooluläbimiskestusest (tab. 33).

Tabel 33

ϑ_{alg}	$\vartheta_{lõpp}$	t s	j_{alg} A/m²	$j_{lõpp}$ A/m²	Mikroobide arv 1 m³ vees
		Kontrollproov 2. X 1954. a.			$490 \cdot 10^9$
16	35	360	34	50	$90 \cdot 10^9$
13	100	360	300	950	$70 \cdot 10^9$
		Kontrollproov 6. X 1954. a.			$350 \cdot 10^9$
22	33	10	520	630	$135 \cdot 10^9$
15	100	360	300	950	$6 \cdot 10^9$

Joogivee soojendamisel peavad elektroodid olema grafiidist või roostevabast terasest, vee soojendamisel tehnilisteks vajadusteks sobib aga pehmeteras Ст-0. Pehmeteras ja alumiinium oksüdeeruvad elektroodveesoojendi töötamisel, vette sadestuvad oksiidid aga muudavad vee joogikõlbmatuks.

Läbivoolava veega elektroodveesoojendi pikaajaline katsetamine tõendab, et grafiitelektroodid üldse ei kulu ega tekita mingisuguseid ebasoovitavaid lisandeid, mistõttu vesi kõlbab nii tehnilisteks vajadusteks kui ka joomiseks.

Elektroodveesoojendi puuduseks on võimsuse muutumine soojendamise käigus, mis vähendab toiteallika paigaldusvõimsuse kasutamisteguri.

Et elektroodveesoojendi oleks elektriohutu, ühendatakse metallpaak maandatud nulljuhtmega.

Elektriveesoojendite ohutuks kasutamiseks loomafarmides on vaja täita järgmisi nõudeid: väliskest valmistada puidust; kraan, lehter, veetasemepiirik paigaldada puitkesta külge, metallpaagist aga isoleerida nad kummivahelikkudega.

Kui need nõuded on täidetud, siis isegi sel juhul, kui nulljuhe on katkenud ja vee eritakistus on kõige väiksem, on kuuma vett võtva ning veesoojendi kere puudutava inimese keha läbiv vool nõrgem kui 0,5 mA. Selline vool on aga inimesele täiesti ohutu. Joogiveekraani puudutavat looma läbib vool 2,5 mA.

Peale kordustoimeliste veesoojendite kasutatakse ka pidevatoimelisi läbivoolu-veesoojendeid, millel on mitteläbivoolulistega võrreldes mõningaid paremusi. Läbivoolu-veesoojendi on mõõtmetelt väiksem ja võimaldab soojendada vett väikestes kogustes. Tema valmistamiseks kulub vähem materjali. Jääva tootlikkuse ja võrgupinge korral läbivoolu-elektroodveesoojendi võimsus töökäigus ei muutu.

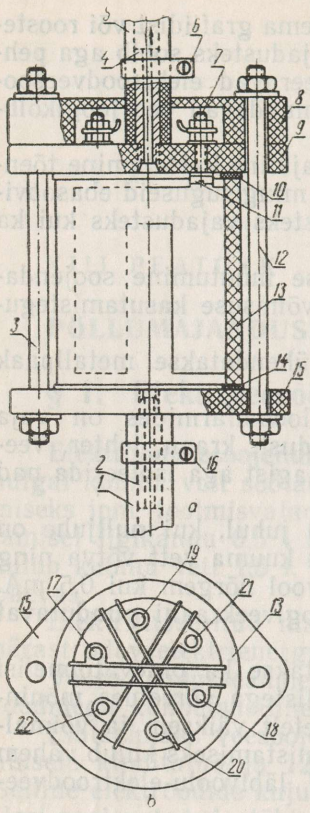
Joonisel 252 on kujutatud väikesemõõtmeline läbivoolu-elektroodveesoojendi võrgupingele 220 V vee soojendamiseks 5 kuni 60° C võrra keskkonna temperatuuril 20° C. Soojendi võimsus on 11,4 kW, tootlikkus 0,63 l/s (175 l/h), kasutegur 98% ja mahutavus 0,5 l. See veesoojendi on loodud Moskva Põllumajandusinseneride Instituudi (МИИСП) põllumajanduses elektrienergia rakendamise laboratooriumis.

Läbivoolu-elektroodveesoojendi põhiosad on asbesttsementtoru *13*, ülemine *9* ja alumine tekstoliitkaas *15*, mis kokku moodustavad veesoojendi kere. Kaaned ja toru on üksteisega kinnitatud kahe tikkpoldiga *3* ja *12*. Nende vahele on asetatud kummitihendid *10* ja *14*. Kaantesse on keeratud otsikud *2* ja *4*, millele pistetakse klambritega *6* ja *16* kinnitatavad kummivoolikud *1* (veetorustikust külma vee sissejuhtimiseks) ja *5* (sooja vee väljajuhtimiseks).

Kere sisse on paigaldatud kolm roostevabast terasest elektroodipaari *17—18*, *19—20* ja *21—22*. Elektroodid *19* ja *20* on H-kujulised, ülejäänud aga П-kujulised. Selline kuju võimaldab monteerida neid üksteise suhtes ristamisi.

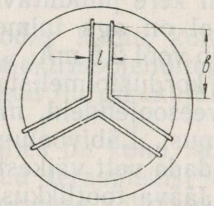
Elektroodide täpseks kohaleasetamiseks on toru siseseina saetud sooned. Igal elektroodil on kontaktkäpp *11*. Poldid *7* on elektroodide pingestamiseks. Elektriliselt on elektroodid omavahel ühendatud paarikaupa: *17* ja *19*, *18* ja *21*, *20* ja *22*. Kontaktpoldid on kaetud tekstoliitkaanega *8*. Selline elektroodide paigutus ja ühendusviis võimaldab kasutada veesoojendi töötakistina kogu keres olevat veehulka.

Elektroodide tavaline paigutus (joon. 253) ei võimalda kogu keres olevat veehulka takistina kasutada. Seetõttu on erikujuliste elektroodidega veesoojendi mõõtmed väiksemad ja nõuavad ühesuguse tootlikkuse ning



Joon. 252. Väikesemõõduline läbivoolu-elektroodveesoojendi:
a — üldvaade; *b* — erikujuga elektroodide paigutus

Joon. 253. Tavaliste nurgikukujuliste elektroodide paigutus läbivooluveesoojendis



siseneva ja väljuva vee ühesuguse temperatuurivahe korral vähem materjali. Ühesuguse mahutavuse korral on nende tootlikkus aga enam kui kaks korda suurem. Kuuma vee temperatuuri mõõdetakse väljavoolutoru otsikusse paigutatud termomeetriga.

Võrgu faas *A* ühendatakse elektroodidega *17* ja *19*, faas *B* elektroodidega *18* ja *21* ning faas *C* elektroodidega *20* ja *22*. Kõik elektroodivahemikud on talitlevad. Toruotsikud ühendatakse omavahel juhtmega ja maandatakse, et vältida kõrge potentsiaali tekkimist veetorustikul ja soojaveejoal. Veesoojendi lülitatakse võrku pärast sissevoolutorustiku kraani avamist ja lülitatakse välja enne kraani sulgemist.

Veesoojendi võimsus arvutatakse valemiga

$$P = \frac{CQ(\vartheta_{sv} - \vartheta_{kv})}{\eta} \text{ W}, \tag{461}$$

kus C on vee mahuerisoojus J/(m³ · K);
Q — veesoojendi tootlikkus m³/s;
ϑ_{sv} — kuuma vee temperatuur °C;
ϑ_{kv} — külma vee temperatuur °C;
η — veesoojendi kasutegur.

Elektroodide vahekaugus arvutatakse võrgupingest sõltuvalt valemiga

$$l = \frac{U}{e} \text{ m}, \tag{462}$$

kus $e = \varrho_s j_l$ on lubatud elektriväljatugevus V/m,

ϱ_s — kuuma vee eritakistus $\Omega \cdot m$,

$j_l = 16/\sqrt{\varrho_s}$ — lubatud voolutihedus A/m² (2000 . . . 5000).

Joonisel 253 kujutatud paigutuse puhul arvutatakse elektroodi pindala faasi kohta valemiga

$$S_f = \varrho_k \frac{Pl}{3U^2} \text{ m}^2 \tag{463}$$

kus ϱ_k on vee keskmine eritakistus $\Omega \cdot m$;

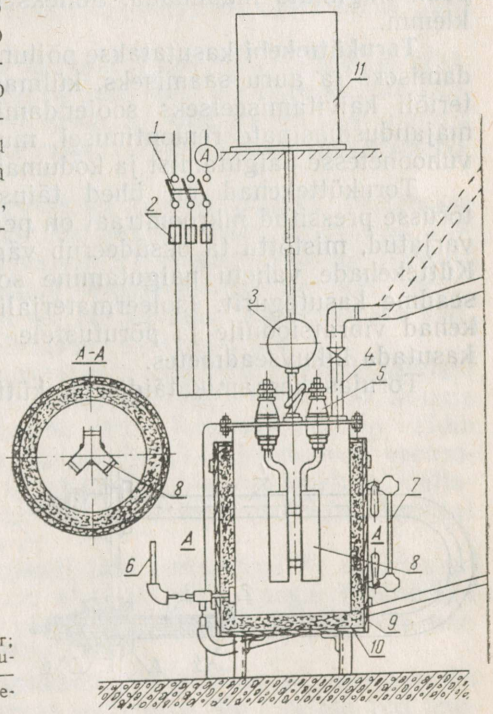
$$\varrho_k = \frac{40\varrho_{20}}{\vartheta_{sv} - \vartheta_{kv}} \cdot \ln \frac{20 + \vartheta_{sv}}{20 + \vartheta_{kv}}. \tag{464}$$

Valinud elektroodi kõrguse h ja laiuse b suhte ($k = h/b = 1 \ldots 2$), arvutame nende väärtused:

$$b = \sqrt{\frac{S_f}{k}}, \quad h = \frac{S_f}{b}. \tag{465}$$

Elektriaurutusagregaatides, mis koosnevad aurutustõrtest ja elektroodaurukatlast, valmistatakse loomakasvatusmajandeis sööta. Ehituselt (joon. 254) sarnaneb katel elektroodveesoojendiga. Erinevused seisnevad vaid selles, et katel on hermeetiline ning on olemas kaitsepaak ja auru väljavoolutoru. Kasutatakse ka erikujulisi kontsentrilisi elektroode koos antielektroodidega. Katla omapäraks on võimsuse automaatne reguleeritavus sõltuvalt aurukulust vee keemisel.

Katla sisselülitamisel on elektroodid üleni vees ja katel arendab suurimat algvõimsust. Vesi soojeneb kuni 100° C ja katla võimsus suureneb talitlusväärtuseni. Nüüd hakkab tekkima aur. Aur koguneb katla ülaossa ja juhitakse mööda aurutoru aurutõrde. Ühes tõrres oleva sööda aurutamise lõpul aurutoru suletakse, aururõhk katlas tõuseb ja vesi suu-



Joon. 254. Elektroodaurukatel:
1 — vinnaklüliti; *2* — kaitsmed; *3* — manomeeter; *4* — aurutoru; *5* — isolaatorid; *6* — vee sissevoolutoru; *7* — veemõõduklaas; *8* — elektroodid; *9* — katla puitvooderdis; *10* — saepurukiht; *11* — kaitsepaak

natakse katlast kaitsepaaki, mille survekõrguse ülemine tähis on 2,8 m. Katla elektroodid vabanevad veest ja katel lülitub automaatselt välja. Auru juhtimiseks teise tõrde avatakse aurutoru kraan, mistõttu katlas rõhk alaneb. Kaitsepaagist tulev vesi täidab uuesti elektroodidevahelise ruumi, lülitades katla taas töösse.

Aururõhk katlas sõltub kaitsepaagi ja katla veetaseme vahest. Kui aururõhk katlas ülemäära tõuseb, surutakse aur kaitsepaaki, sest muidu võib katel lõhkeda.

Elektriaurutusagregaadi andmed on esitatud tabelis 34.

Tabel 34

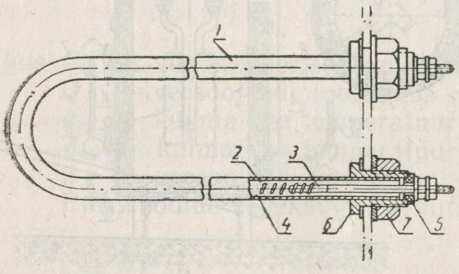
Iseloomustussuurused	
Tööpinge V	220/380
Tarbimisvõimsus kW	6...10
Suurim aururõhk N/m²	$11{,}8 \cdot 10^4$
Katlasse valatava vee hulk l	54
Aurutatava vee hulk l	35
Aurutustõrre kasulik mahutavus l	150
Mahutatavate kartulite kogus kg	100
Aeg vee soojendamiseks kuni keemiseni min	45...90
Talitlustsükli kestus h	2,5...3
Energia erikulu kartulite aurutamisel kJ/kg	360
kWh/t	100

Elektroodaurukatelde ja -veesoojendite paigaldamisel ja kasutamisel tuleb erilist tähelepanu osutada ohutustehnikale. Elektroodseadmete kasutamisel esineva suurema elektriohtlikkuse tõttu tuleb nende metallkere ja paak tingimata maandada. Selleks on katla kaane külge keevitatud eriklemm.

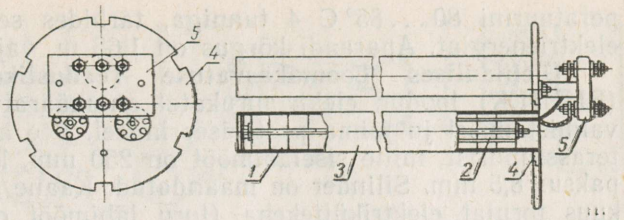
Toruküttekehi kasutatakse põllumajanduses loomafarmides vee soojendamiseks ja auru saamiseks, külmal aastaajal sisepõlemismootorite karteriõli käivitamiseelseks soojendamiseks, metalli kuumutamiseks põllumajandusmasinate remontimisel, mulla kuumsteriliseerimiseks enne kasvuhoonetesse paigutamist ja kodumajanduses.

Toruküttekehad on ühed täiuslikumad elektrikuumutid. Täidisega torusse pressitud nikroomtraat on peaaegu täielikult õhu juurdepääsu eest varjatud, mistõttu ta oksüdeerub väga vähe ja on pikka aega kasutatav. Küttekehade vahetu paigutamine soojendatavasse keskkonda suurendab seadme kasutegurit. Isoleermaterjalisse pressitud traadi tõttu on küttekehad vibratsioonile ja põrutustele vastupidavad, mis võimaldab neid kasutada liikuvseadmetes.

Torujas keraamikatäidisega küttekeha (joon. 255) on järgmise ehi-



Joon. 255. Torujas keraamikatäidisega elektriküttekeha



Joon. 256. Torujas mitmeõõneliste talkšamottisolaatoritega elektriküttekeha:
1 — isolaator; *2* — tikkpolt; *3* — kest; *4* — äärik; *5* — klemmikilp

tusega. Metalltorusse *1* on koaksiaalselt paigutatud nikroom-, fekraal- või konstantaantraadist takistuskeermik *2*. Keermiku otsad on ühendatud tikkpoltidega *3*, mille välisotste külge ühendatakse toitejuhtmed. Keermiku, tikkpoltide ja toru vaheline ruum on täidetud ühtliku, tihedalt kokkupressitud massiga *4*. Täidiseks on kristalne magneesiumoksiid, kuumutustemperatuuridel alla 400 . . . 450° C aga kvartsliiv, mis annab hästi soojust juhtiva, ühtlasi aga keermikku torust hästi elektriliselt isoleeriva elastse massi. Täidise elastsus võimaldab painutada küttekeha kasutamiskohaga sobitamiseks vajalikku kujusse. Küttekehade otsad kaetakse steatiit- või portselantüllidega *5*. Küttekehad kinnitatakse kohale torudele joodetud otsaniplitega *6* ja mutritega *7*.

Kasutatakse ka vähem täiuslikke, kuid märksa odavamaid ja lihtsamini valmistatavaid küttekehi, millel on vastavad mitmeõõnelised talkšamotist eriisolaatorid *1* (joon. 256). Metallist tikkpoldile *2* lükitud isolaatorid moodustavad kaheksaõõnelise südamiku, mille õõntesse paigutatakse küttekeermik. Keermikuga südamik mahutatakse torulõiku *3*, mille ühes otsas on põhi ja teises äärik *4*. Keermiku otsad on väljastatud äärikule kinnitatud klemmikilbile *5*.

Termosveesoojendi BƏT-200. See aparaat (joon. 257) koosneb sfääriliste põhjadega metallanumast *6*, mis on mahutatud tsentreerivate ribidega *5* varustatud ja kaanega *8* kaetud kesta *11* ning toetub seal puidust ristalusele *15*. Anuma ja kesta vaheline ruum on täidetud soojusisolatsiooniga *12*.

Kolm küttekeha *14*, mis on paigaldatud anuma allossa, lülitatakse tähte ühendatult võrku, mille pinge on 380/220 V. Nende kohale on kinnitatud termorelee *13*, mis lülitab veesoojendi magnetkäivitiga võrgust välja, kui vesi on soojenenud ettenähtud temperatuurini, ja taas võrku, kui vesi on 10 . . . 12° C võrra jahtunud või kui aparaati voolab külma vett.

Väljuva vee temperatuuri kontrollitakse termomeetriga *9*.

Veevarustusvõrku ühendatakse aparaat läbi ventiili *3*, tagasilöögiklapi *4* ja kahe kummilõdviku *7*. Ventiili *3* avamisel tungib külm vesi anuma allossa, surudes kuuma vee toru *10* kaudu välja. Tagasilöögiklapp väldib kuuma vee pääsu külmaveetorustikku. Kummilõdvikud isoleerivad veesoojendi veetorustikust ja suurendavad aparaadi käsitsemise ohutust. Väljalaskekraani *2* kaudu lastakse vesi anuma puhastamisel välja. Aparaat paigutatakse tellis- või betoonalusele *1*.

Elektrivõrku ühendatakse veesoojendi läbi kontaktori *K*, sulavkaitsmete *SK* ja vinnaklüliti *VL*. Anum on alati täidetud veega, küttekehad aga lülitatakse automaatselt sisse ja välja kontaktoriga *K*, mis saab juhtimisimpulsi soojusreleelt *SR* (joon. 258).

Soojusisolatsioon vähendab energiakadu. Väljalülitunud veesoojendis jahtub vesi kiirusega 1 K tunnis. Aparaat soojendab 200 l külma vett tem-

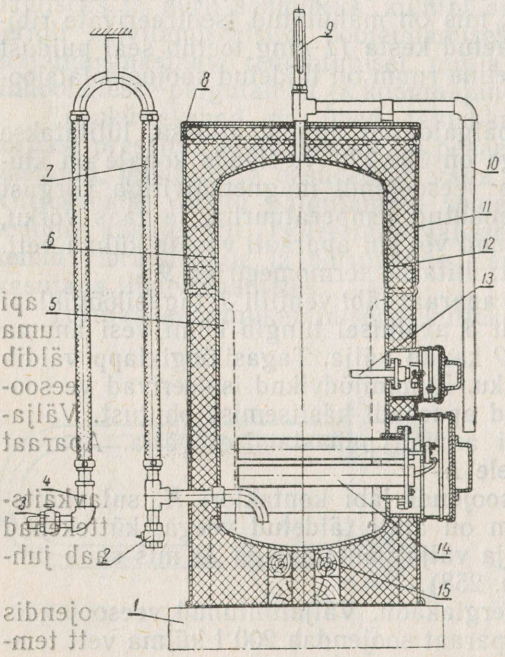
peratuurini 80 ... 85° C 4 tunniga, tarbides selleks 75,6 MJ (21 kWh) elektrienergiat. Aparaadi kõrgus on 1,65 m, vajalik pindala 1 m².

Üleliidulises Loomakasvatuse Teadusliku Uurimise Instituudis (ВНИИЖ) loodud elektriaurukatel on määratud auru saamiseks sööda valmistamisel ja piima pastöriseerimisel. See aurukatel koosneb püstjast terassilindrist, mille siseläbimõõt on 250 mm, kõrgus 2020 mm ja seinapaksus 8,5 mm. Silinder on maandatud. Kaane siseküljele on paigaldatud kuus torujat elektriküttekeha (toru läbimõõt on 12 ... 16 mm), igaühe võimsus 6 kW.

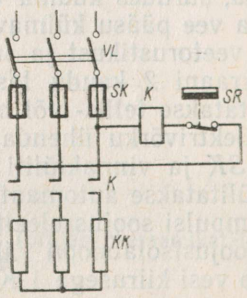
Iga küttekeha on arvutatud pingele 220 V. Küttekehade isolatsiooni läbilöögipinge on 3000 V. Veidi rohkem kui pool katlast peab olema veega täidetud. Elektrikatlas läheb vesi keema 16 ... 18 minuti jooksul pärast toruküttekehade sisselülitamist. Aururõhk saavutab 25 ... 26 minuti jooksul väärtuse 118 kN/m² (1,2 at). Elektrikatla kasutegur on keskmiselt 0,97 ... 0,98 ja tootlikkus 0,33 ... 0,36 kg auru 1 MJ (1,2 ... 1,3 kg 1 kWh) kohta.

Katla tööd automatiseerivad rõhurelee, toiteregulaator ja doseerimispump. Rõhurelee koosneb kontaktmanomeetrist, mis lülitab katla kontaktori abil välja, kui rõhk tõuseb üle ettenähtud määra. Rõhurelee tõrke korral rakendub kaitseseadme surveklapp ja rõhk katlas alaneb.

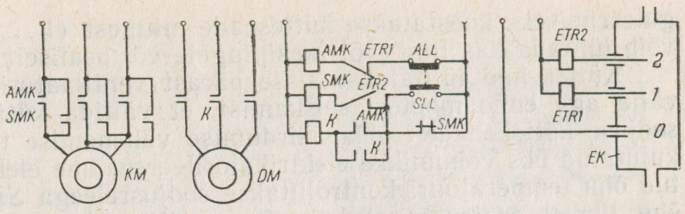
Toiteregulaator koosneb reversiivmootorajamiga reguleerkraanist, tasemereleedest *ETR1* ja *ETR2* (joon. 259) ja elektroodisüsteemist. Elektroodisüsteem koosneb messingvarrastest, mis on isoleerkorkide abil paigaldatud elektrikatlasse *EK* vee ülemise *2* ja alumise *1* taseme joonele. Veetaseme langedes allapoole elektroodi *1* tasemerelee *ETR1* ennistub, tema avanevkontakt magnetkontaktori *AMK* mähise vooluringis sulgub ja kraani käitav elektrimootor *KM* käivitub ning avab kraani. Samaaegselt saab toite ka doseerimispumba mootori *DM* vooluringis olev kontaktori *K* mähis, doseerimispump käivitub ja pumpab katlasse soodalahust. Soodat lisatakse katlakivi tekkimise vältimiseks.



Joon. 257. Elektritermosveesoojendi ВЭТ-200



Joon. 258. Veesoojendi ВЭТ-200 elektriskeem



Joon. 259. Elektriaurukatla toiteautomaatika põhimõtteskeem

Kui kraan on täielikult avanenud, avaneb lõpplüliti *ALL* kontakt kontaktori *AMK* mähise vooluringis ja mootor *KM* seiskub. Samal ajal sulgub lõpplüliti *SLL* kontakt magnetkontaktori *SMK* vooluringis. Veetaseme tõustes elektroodini *2* lülitab tasemerelee *ETR2* sisse kontaktori *SMK*, mootor *KM* käivitub vastupidises suunas ning suleb kraani. Kui kraan on täielikult sulgunud, avaneb lõpplüliti *SLL* kontakt, *ALL* aga sulgub. Mõlemad elektrimootorid *KM* ja *DM* seiskuvad ja vee juurdevool katlasse lakkab.

Katla sisselülitamiseks vajutatakse lülituskilbil paiknevale käivitusnupule, seiskamiseks aga samas paiknevale seiskamisnupule (skeemil neid pole).

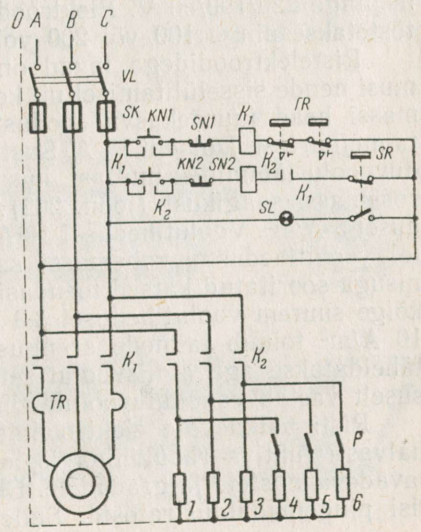
§ 2. Elektrikalorifeerid

Elektrikalorifeere kasutatakse emisesigalates ja lindlates sissepuhutava õhu soojendamiseks külmal aastaajal, teraviljade ja kõrvitsaliste seemnete ning heina kuivatamiseks, katmikalade õhkkütteks, uutes majades krohvi kuivatamiseks jm.

Elektrikalorifeerseadmel on järgmised vundamendile paigaldatud põhisõlmed: küttekehade kamber, elektriajamiga ventilaator, õhu sisse- ja väljajuhtimise torustik ning mitmed abiseadised.

Kamber on enamasti risttahukakujuline, nurkterasest raamiga ja terasplekist seintega. Üks sein tehakse lahtivõetav, et küttekehi oleks hõlpsam kambrisse paigaldada. Küttekehad kujutavad endast täisnurkseid keermikkudega raame.

Keermikud valmistatakse nikroom-, fekraal-, konstantaan- või tsingitud terastraadist ning kinnitatakse raamile isolaatorite külge. Elektrivõrku ühendatakse küttekehad läbiviikisolaatorite kaudu, mis väljastpoolt kaetakse kaitsekestaga. Väljuva õhu temperatuuri re-



Joon. 260. Elektrikalorifeerseadme elektriskeem: *1*, *2* ja *3* — põhiküttekehad; *4*, *5*, *6* — lisaküttekehad õhu soojendusmäära reguleerimiseks

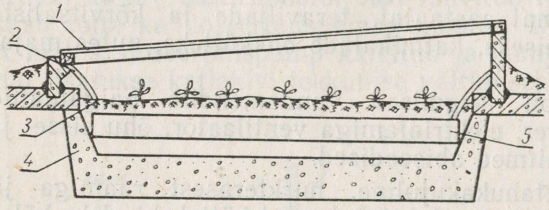
guleerimiseks koostatakse kütteseade mitmest (1 . . . 6) sektsioonist, mida võib lülitada kas liini- või faasipingele või osaliselt täiesti välja lülitada.

Küttekehad lülitatakse sisse pärast ventilaatori mootori käivitamist, välja aga enne mootori seiskamist, et vältida küttekehade läbipõlemist soojuse küttekehadelt õhku siirdumise vähenemise tõttu. Joonisel 260 on kujutatud üks võimalikke elektrikalorifeerseadme elektriskeeme. Soojendatud õhu temperatuuri kontrollitakse soojusreleega *SR*. Soojusrelee lülitab õhu liigsel soojenemisel kalorifeeri välja, õhutemperatuuri ülemäärasel langemisel aga lülitab sisse signaallambi *SL*, hoiatades teenindavaid isikuid seadme nõutud talitlusolukorra häirusest. Kontaktori *K1* blokeerkontakt kontaktori *K2* vooluringis ei lase küttekehi sisse lülitada käivitamata ventilaatori korral.

§ 3. Katmikalade ja kasvuhoonete elektersoojendus

Elektroodsoojenduseks pannakse lavamulda elektroodid. Joonisel 261 on kujutatud (H. A. Jessijevi konstrueeritud) ristelektroodidega lava lõige. Elektroodid mõõtmetega $1400 \times 80 \times (1 \pm 0{,}5)$ mm on paigutatud mullakihti sümmeetriliselt. Piki lava peenraid on paigaldatud isoleerimata jaotusjuhtmed. Lühikeste harujuhtmetega ühendatakse jaotusjuhtmete külge elektroodid — paaritud elektroodid ühe juhtme, paariselektroodid teise juhtme külge.

Lavasid toidetakse ühefaasiliste trafodega, mille võimsus on 20 kVA

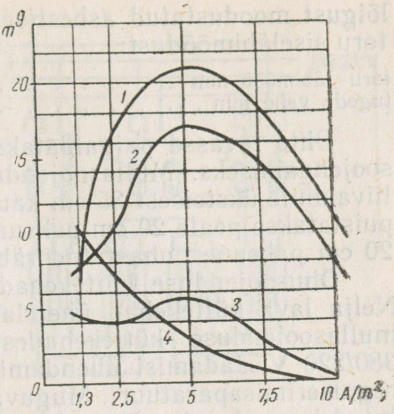


Joon. 261. Ristelektroodidega lava:
1 — lavaraam; *2* — lavarake; *3* — muld; 4 — räbu; *5* — elektrood

ja pinge 220/100/50 V. Elektroodide tööpinge on 50 V. Üleskütmise algul tõstetakse pinge 100 või 200 voldile.

Ristelektroodidega lavad on andnud rahuldavaid agrotehnilisi tulemusi nende sisselülitamisel nii keskmisel kui ka hilisemal kasvuajal. Rohemassi head juurdekasvu soodustab vahelduvvoolu läbiminek mullast ja taimejuurtest. Dotsent V. A. Šustov on oma katsetega tõendanud, et vahelduvvoolu läbiminek mullast, kus kasvavad taimed (redis, salat) mõjustab rohemassi saagikust (joon. 262). Suurimat saagikust täheldati voolutihedusel 5 A/m^2. Voolutihedusel 10 A/m^2 täheldati taimede hukkumist. Väikestel voolutihedustel rohemassi saagikus märgatavalt ei suurenenud. Ka nisuga sooritatud katsed tõendasid, et vahelduvvoolu stimuleeriv toime on kõige suurem voolutihedusel 3,3 . . .6,7 A/m^2. Alalisvool tihedusega 1,3 . . . 10 A/m^2 toimib taimede arengusse pidurdavalt, voolutihedusel 0,1 A/m^2 täheldatakse aga alalisvoolul sellist stimuleerivat toimet, mis oma tõhususelt vastab vahelduvvoolule tihedusega 5 A/m^2.

Risti paiknevate elektroodide korral on vaja lavad üksteisest voolu halvasti juhtiva räbukihiga isoleerida, et vältida potentsiaali kandumist lavadevahelistele jalgradadele. Elektriohu vähendamiseks kasutatakse erilisi pingemadaldustrafosid. Selle soojendusviisi parendamiseks soovitab



Joon. 262. Rohemassi saagikuse *m* sõltuvus vooluтihendusest ja -liigist:

1 ja *2* — vahelduvvoolu puhul sagedusega 50 Hz; *3* ja *4* — täisperioodalaldist saadava pulseerivvoolu puhul; *1* ja *3* — teraselektroodidega; *2* ja *4* — süsielektroodidega

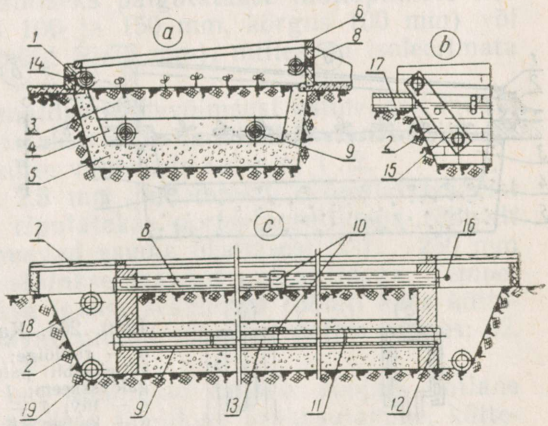
dotsent V. A. Šustov paigaldada piki lava neli elektroodi, H. A. Jessijev aga kolm elektroodi.

Nelja elektroodi puhul ühendatakse äärmised plaadid võrgu samanimelise faasi külge pingele 50 V, kolme elektroodi korral aga ühendatakse äärmised plaadid otsipidi kokku nii, et nad moodustavad ühe kinnise täisnurkse kontuuri, mis varjestab raami ja mis ühendatakse maandatud nulljuhtmega. Sellega välditakse potentsiaali kandumist jalgradadele. Raami sees olev keskmine plaat ühendatakse faasijuhtmega pingele 127 V. Järelikult on teisel juhul jaotusvõrgu ja elektroodide vaheline ühenduspunktide arv väikseim ning vajadus erilise pingemadaldustrafo järele puudub täiesti.

Ohutuse tagamiseks on lavade avamine koormuslülitiga blokeeritud. Lava avamine on võimalik ainult pärast lavaelektroodide pingest vabastamist.

Elektroodkuumutust rakendatakse ka lavamulla steriliseerimiseks erikastides, mida nimetatakse sterilisaatoriteks. Mullale lisandatavad väetised vähendavad mulla takistust tunduvalt, mistõttu võimsus ja kuumenemiskiirus suurenevad, kuumutamiskestus ja kadu aga vähenevad.

Toruküttekehadega lavad (joon. 263). Toruküttekeha koosneb isoleerimata tsingitud terastraadist, mis on pinguldatud kümnest kahemeetrisest



Joon. 263. Üleliidulises Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudis (ВИЭСХ) loodud toruküttekehadega ja monteeritavate raudbetoonlavaraketega lava:

a — ristlõige; *b* — lavakaevu lõige; *c* — pikilõige (otsakesti pole kujutatud); *1* — monteeritavad lavarakked; *2* — tellisvahesein; *3* — lavamuld; *4* — liiv; *5* — räbu; *6* — lavaraam; *7* — puitkilp; *8* ja *9* — asbesttsementtorud; *10* — ühendusmuhv; *11* — asbesttsementtugi; *12* — asbesttsementkork; *13* — tsingitud terasküttetraat; *14* — teraskonks; *15* — katuseplekist kest; *16* — küttetraadi ja kaabli poltliide; *17* — toitekaabel; *18* — kaablitoru; *19* — drenaaztoru

lõigust moodustatud asbesttsementtoru teljele. Suurim tugedevahe sõltub toru siseläbimõõdust:

toru läbimõõt mm	50	75	100
tugede vahe mm	600	900	1200

Ühte lavasse paigaldatakse neli küttekeha: kaks mulla ja kaks õhu soojendamiseks. Mullasoojenduse küttekehad asetatakse 3 cm paksusele liivakihile üksteisest 85 cm kaugusele, kaetakse 15 cm paksuselt liivaga ja puistatakse peale 20 cm paksune kiht lavamulda. Liivakihi alla jääb 15 . . . 20 cm paksune puhastatud räbukiht.

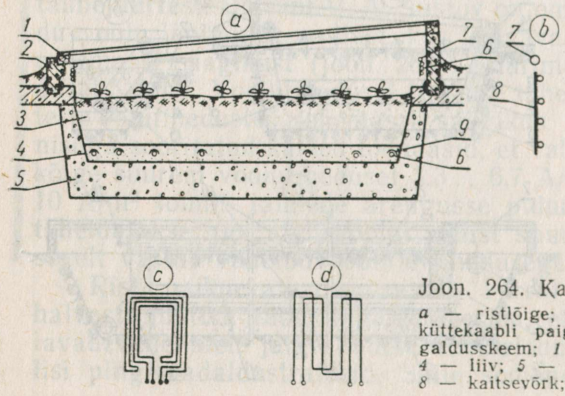
Õhusoojenduse küttekehad paigaldatakse konksudele piki lavaraket. Nelja lava küttekehad ühendatakse jadamisi (õhusoojenduse küttekehad mullasoojenduse küttekehadest eraldi) ja lülitatakse võrku pingega 380/220 V. Jadamisi ühendamise korral ei ole vaja niipalju käivitus- ja reguleerimisaparatuuri. Mugavamaks teenindamiseks on lava otstesse ehitatud kaevud, mis võimaldavad küttekehi järele vaadata ja vahetada.

Ühes reas paiknevate lavade kaevud ühendatakse ühenduskaabli paigaldamiseks asbesttsementtorudega. On olemas ka drenaaztoru. Elektrienergia tuuakse juurde kaabliga ВРГ, mille soone ristlõige on 10 mm². Küttekehade valmistamiseks kulub 14,6 kg terast erikuluga 2 kg/kW. Kahekümne lavaaknaga lava kohta kulub 86 m torusid. Katmikala ülessoojendamine ei valmista raskusi. Soojendatud katmikala talub elektrienergia andmises mitmetunniseid katkestusi.

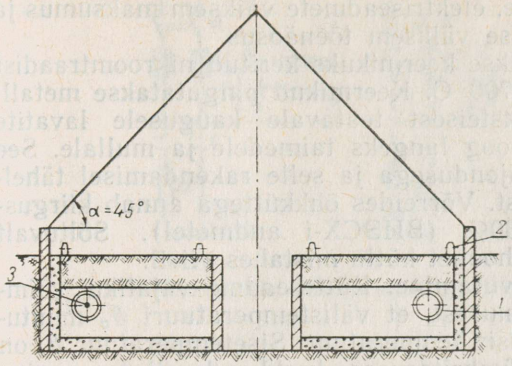
Kaabelküttega lavad. Küttekaabel kujutab enesest 0,85 mm jämedust emailitud konstantaantraati, mille meetritakistus on 0,85 Ω. Traat on isoleeritud klaaskiuga, mis on immutatud glüftaallakiga ja kaitstud 1 mm paksuse pliikestaga. Kaabli läbimõõt on ligikaudu 4 mm. Erivõimsus on 25 W/m.

Lava soojendamiseks paigutatakse osa kaablist 7 . . . 8 cm paksusse liivakihti (joon. 264) kas vahetult või drenaaztorudes. Viimane moodus on eelistatavam, sest sel juhul on kaablit võimalik hõlpsasti vahetada. Liiv paikneb 20 cm paksuse lavamullakihi ja 15 . . . 20 cm paksuse räbupadja vahel. Puhastatud ja läbipestud räbu täidab soojusisolatsiooni osa.

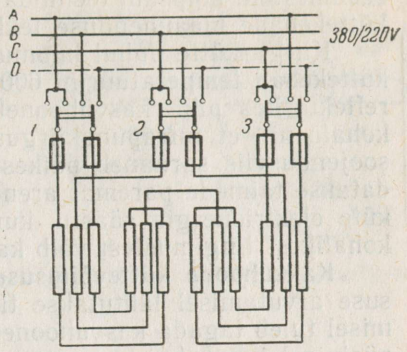
Teine osa kaablist riputatakse kandetrossi abil õhku piki lavaraket, seinast 1 . . . 2 cm kaugusele. Mehaaniliste vigastuste eest kaitstakse kaabli õhus olevat osa metallvõrguga, mullas olevat osa aga metallvõrguga, kaablile asetatud künataoliste terasribadega või asbesttsementlehest ribadega. Mõnikord müüritakse kaabel betoonplaati, mis liiva asemel asetatakse soojust isoleerivale betoonpadjale.



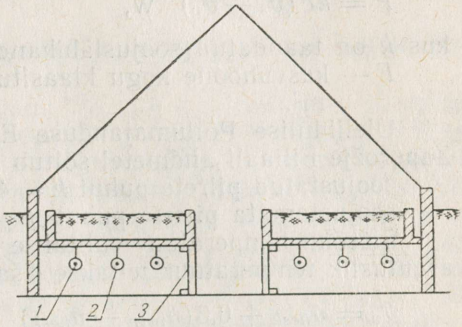
Joon. 264. Kaabelküttega lava:
a — ristlõige; *b* — õhuküttekaabli kinnitus; *c* — õhuküttekaabli paigaldusskeem; *d* — mullaküttekaabli paigaldusskeem; *1* — lavaraam; *2* — lavarake; *3* — muld; *4* — liiv; *5* — räbu; *6* — küttekaabel; *7* — kandetross; *8* — kaitsevõrk; *9* — terasribad



Joon. 265. Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) Zaporožje filiaalis loodud muld-õhkküttega kasvuhoone ristlõige:
1 — asbesttsementtoru; *2* — trapetsikujuline tsementtoru; *3* — isoleerimata terasjuhe



Joon. 266. Muld-õhkküttega kasvuhoone küttekehade elektriskeem



Joon. 267. Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) Zaporožje filiaali õhkküttega kasvuhoone ristlõige:
1 — isoleerimata terastraadist küttejuhe; *2* — portselanrull; *3* — puitrest

Kui katmikala üldvõimsus on 8 kW, on metalli erikulu 16,7 kg/kW, millest 5,6 kg/kW kulub kaablile.

Kasvuhoonete elekterküte. Kasvuhoonetes rakendatakse kolme liiki elekterkütet: muld-õhkkütet, õhkkütet ja kiirguskütet.

Muld-õhkkütte puhul paigaldatakse toruküttekehad mullaalusesse liivakihti kasvuhoone seina lähedale (joon. 265). Põletatud glasuurtorude läbimõõt võib olla 125/143, 150/169, 200/220 mm, asbesttsementtorudel 125/145, 150/179, 220/226 mm. Soojustamiseks täidetakse lavatite põhi ja välisseinad räbuga. Õhu soojendamiseks paigutatakse mullapinnale trapetsikujulised tsementtorud (alus 100 ja 150 mm, kõrgus 100 mm) või ümarad asbesttsementtorud (läbimõõt 50/75 mm), milles on isoleerimata terastraat.

Kasvuhoone elektrilülitus võimaldab küttevõimsust astmeliselt muuta (joon. 266). Vinnaklülitiga *2* lülitatakse sisse muldküte, vinnaklülititega *1* ja *3* aga õhkküte. Muld- ja õhkkütte võimsuste suhe on 1 : 2.

Õhkkütte korral kasutatakse 2,5 mm jämedusest tsingitud traadist küttekehi (joon. 267). Küttejuhe riputatakse portselanrullidega rõhtsalt lavatite alla, kusjuures juhtmed peavad asuma üksteisest 200 . . . 250 mm kaugusel. Vahekäigu poolelt tõkestatakse traadid puitrestidega. Temperatuuri reguleerimiseks ühendatakse igasse sektsiooni rööbiti kaks küttekeha. Vinnakümberlülitid võimaldavad muuta võimsust neljas astmes: 32, 16, 15,4 ja 7,7 kW pingel 380/220 V.

Õhkküttel on muld-õhkkütte ees mõningad eelised: soojuse ühtlane jaotumine õhus ja mullas, mulla pindala täielikum ärakasutamine, küttе-

seadmestiku hõlpsam teenindamine, elektriseadmete väiksem maksumus ja küttekehade maaühenduse tekkimise väiksem tõenäosus.

Kiirgusküte puhul kuumutatakse keermikuks keritud nikroomtraadist küttekehad temperatuurini 600 ... 700° C. Keermikud paigutatakse metallreflektorites piki kasvuhoonet üksteisest teatavale kaugusele lavatite kohale nii, et infrapunakiirguse voog langeks taimedele ja mullale. See soojendusviis sarnaneb päikesesoojendusega ja selle rakendamisel tähelдatakse taimede paremat arenemist. Võrreldes õhkküttega annab kiirgusküte elektrienergia säästu kuni 30% (ВИЭСХ-i andmetel). Sõltuvalt kohalikest tingimustest võib kasvuhoonet kütta mistahes viisil.

Kasvuhoone küttevõimsuse arvutamine. Kütteseadme vajaliku võimsuse arvutamisel lähtutakse tingimusest, et välistemperatuuri ϑ_v muutumisel tuleb tagada kasvuhoones püsiv temperatuur. Sisetemperatuur ϑ_s on püsiv sel juhul, kui kasvuhoonest ümbritsevasse keskkonda siirduv soojus osutub võrdseks küttekehade poolt tekitatud soojusega.

Vajaliku võimsuse võib arvutada avaldisega

$$P = kF(\vartheta_s - \vartheta_v) \text{ W}, \tag{466}$$

kus k on taandatud soojusläbikandetegur W/(m² · K);

F — kasvuhoone kogu klaasitud pind, mis puutub kokku välisõhuga, m².

Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) Zaporožje Filiaali andmetel sõltub soojusläbikandetegur tuule kiirusest v:

soojustatud piirete puhul $k = 4 + 0{,}08v^2$;

soojustamata piirete puhul $k = 5{,}5 + 0{,}1v^2$.

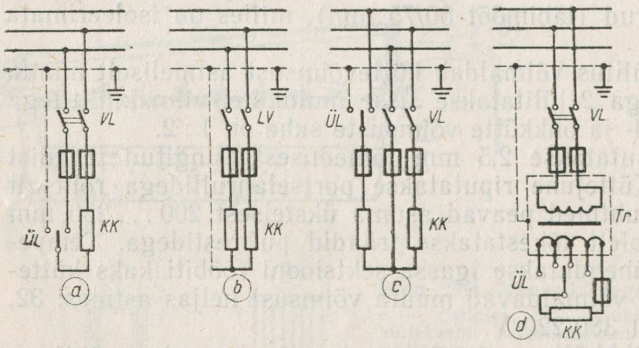
Siseõhu temperatuur valitakse agrotehniliste normide järgi. Välisõhu arvutuslik temperatuur leitakse Tšaplini valemiga

$$\vartheta_v = \vartheta_{kesk} + 0{,}6(\vartheta_{min} - \vartheta_{kesk}) \text{ või}$$
$$\vartheta_v = 0{,}4\vartheta_{kesk} + 0{,}6\vartheta_{min}, \tag{467}$$

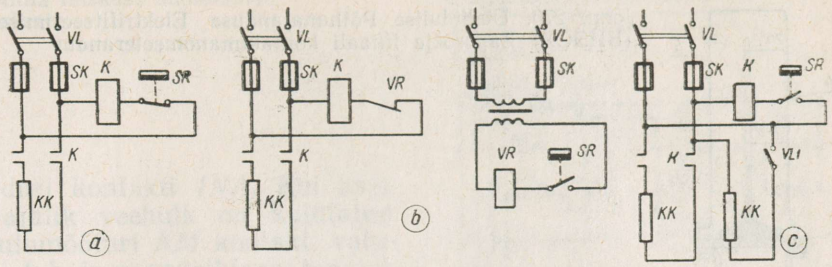
kus ϑ_{kesk} on kasvuhoone kasutamise hooaja kõige külmema kuu keskmine temperatuur;

ϑ_{min} — antud kliimavöötme kõige külmema kuu madalaim temperatuur.

Küttevõimsuse arvutamisel tuleb arvestada, et hõõglampide kasutamisel täiendavaks valgustuseks kulub ligikaudu 70% nende võimsusest kasvuhoone õhu soojendamiseks, s. t. õhusoojenduse küttekehade võimsust võib sel juhul vähendada 70% võrra lampide paigaldusvõimsusest.



Joon. 268. Kütteseadme elektriskeem temperatuuri käsitsireguleerimisel



Joon. 269. Kütteseadme elektriskeem temperatuuri automaatreguleerimisel

Soojus- ja veeolukorra reguleerimine katmikaladel. Katmikaladel kasvatatavad taimed vajavad normaalseks arenemiseks soodsaimat temperatuuri ning mulla- ja õhuniiskust. Temperatuuri reguleeritakse taime liigist, kasvujärgust ja kellaajast sõltuvalt.

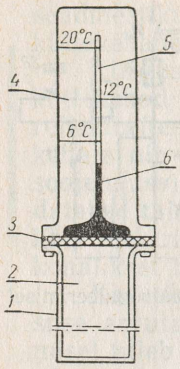
Temperatuuri võib reguleerida käsitsi, automaatselt või kombineeritult.

Käsitsi võib reguleerida joonisel 268, *a*, *b*, *c*, *d* esitatud skeemide järgi. Ümberlülitamistel lähtutakse termomeetri näidust. Skeemi *a* järgi reguleerimisel lülitatakse küttekeha *KK* ümberlüliti *ÜL* abil liinipingelt faasipingele ja vastupidi. Konstantaansoonega küttekaabli kasutamisel muudab selline ümberlülitamine võimsust vahekorras 1 : 3. Skeemil *b* on küttekeha *KK* jaotatud kaheks ühesuguse võimsusega sektsiooniks. Sisse lülitatakse kas üks või kaks sektsiooni. Reguleerimisulatus on 1 : 2. Skeemi *c* puhul, mis hõlmab nii skeemil *a* kui ka skeemil *b* kujutatud lülitusi, võib saada neli reguleerimisastet. Skeemi *d* järgi reguleeritakse temperatuuri trafo *Tr* sekundaarmähise pinge muutmisega ümberlüliti *ÜL* abil.

Automaatreguleerimine on võimalik joonisel 269, *a*, *b*, *c* esitatud skeemide järgi. Skeemi *a* järgi reguleeritakse temperatuuri küttekeha *KK* sisse- või väljalülitamise teel kontaktoriga *K*. Kontaktorit tüürib avanevkontaktiga temperatuurirelee, mille kontakt peab taluma kontaktori mähise toitevoolu. Skeemi *b* puhul tüürib kontaktorit *K* sulguvkontaktiga temperatuurirelee *SR* avanevkontaktiga vaherelee *VR* kaudu. Automaatreguleerimisel võivad küttekehad ise olla ühendatud joonisel 268 esitatud skeemi *a* või *b* järgi.

Automaatreguleerimine vähendab taimi hooldavate töötajate töövaeva ja säästab elektrienergiat, kuid suurendab elektriseadmete maksumust. Automaatreguleerimisaparatuurile tehtavaid kulutusi on võimalik vähendada, kui mitme kasvuhoone soojusolukorda reguleeritakse üheaegselt üheainsa temperatuurirelee ga, mis on aga võimalik vaid siis, kui kõigis kasvuhoonetes kasvatatakse ühesuguseid ja ühesuguses kasvujärgus olevaid taimi.

Sageli kasutatakse temperatuurirelee na mitteseatavat elavhõbetermomeetrit, mille kapillaartoru seina on vajalikule kõrgusele joodetud kontaktid, või termomeetrit tüüp TK, mis võimaldab seada kontakte nõutud temperatuurile. Tähelepanu väärib Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) Zaporožje Filiaali kontaktmanomeeterandur (joon. 270). Anduri kere *1* on valmistatud terastorust, mille pikkus on 120 mm, siseläbimõõt 16 mm ja seinapaksus 0,5 mm. Toru on alt suletud metallpõhjaga ja moodustab suure ruumpaisumisteguriga ($\beta = 110 \cdot 10^{-5}$) töövedeliku *2* (parafiinõli) anuma.



Joon. 270. Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) Zaporožje filiaali kontaktmanomeeterandur

Toru külge on 1 . . . 1,5 mm paksuse kummimembraani *3* kaudu kinnitatud orgaanilisest klaasist kontaktkapillaartoru tugi *4*. Kapillaartoru *5* (läbimõõt 1 . . . 1,5 mm) on täidetud elavhõbedaga *6*, mis teatud temperatuuril suleb anduri kontaktid. Kontaktide katkestusvõimsus on vahelduvvoolu korral 15 . . . 20 W.

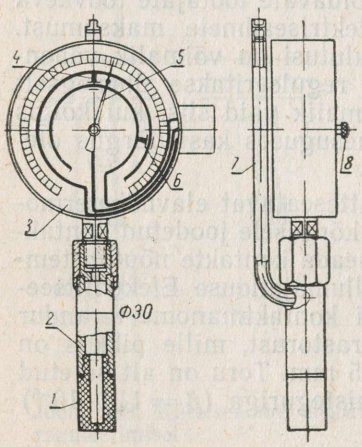
Elavhõbedasamba paneb liikuma membraan, mis temperatuuri tõusmisel parafiini surve mõjul kummub. Anduri kere asetatakse mulda 100 mm sügavusele. Andur reguleerib temperatuuri kolmes astmes (6, 12, 20° C). Astmeid muudetakse ümberlülitiga.

Veeolukorda võib reguleerida niiskusanduriga. Üleliidulises Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudis (ВИЭСХ) konstrueeritud elektrokontakt-niiskusandur koosneb mikropoorsest portselanfiltrist *1* (joon. 271), ühenduspadrunist *2*, mille küljes on toru *7* destilleeritud või keedetud vee sissevalamiseks, ja elektrokontakt-vaakuummeetrist *3*.

Filtri külgpind on kaetud läbitungimatu glasuuriga. Mulla imendamistoime antakse vaakuummeetrile üle läbi filtri aluspinna. Vaakuummeetril on kolm elektrikontaktidega osutit. Osuti *5* näitab riistale mõjuvat hõrendust. Signaalosutid *4* ja *6*, mis on tinglikult kujutatud liugkontaktidena, seatakse hõrenduse, järelikult ka mullaniiskuse sellistele väärtustele, mille korral on vaja anda vooluimpulsse kastmisseadme juhtimiseks.

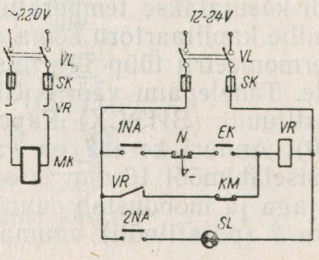
Mulla imendamisjõu mõjul siirdub osa vett mõõteriistast läbi filtri mulda. Riista õõnes tekib hõrendus, vaakuummeetri osuti hälvib oma esialgsest asendist ning suleb teatud hõrenduse, järelikult ka teatud mullaniiskuse puhul elektrikontakti (joon. 272).

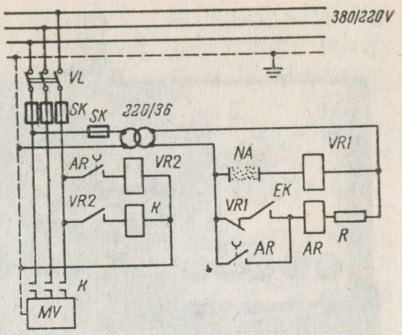
Kui saabub hommikune või õhtune kastmisaeg, lülitab kontaktkell *EK* vaherelee *VR* vahendusel sisse magnetklapi *MK*, mis avab veele pääsu kastmisseadmesse. Samal ajal sildab vaherelee *VR* sulguvkontakt



Joon. 271. Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) elektrokontakt-niiskusandur

Joon. 272. Elektrokontaktanduriga mulla niiskuse automaatse kontrollimise ja reguleerimise skeem





Joon. 273. Mulla niiskuse automaatse säilitamise skeem

niiskusanduri kontakti *1NA*. Kui kastmiseks vajalik veehulk on kulutatud, avaneb kulumõõturi *KM* kontakt, vaherelee ennistub ja magnetklapp taassulgub.

Sama instituudi teises lülituses (joon. 273) koosneb niiskusandur kahest kastetavasse maasse paigutatud elektroodist ja elektroodide vahele jäävast mullast. Kui mullaniiskus väheneb agrotehniliste normidega lubatud minimaalse väärtuseni, nõrgeneb vool vaherelee *VR1* vooluringis sedavõrd, et ennistub. Vaherelee *VR1* avanevkontakt sulgub. Kui saabub kastmisaeg, sulgub ka kella *EK* kontakt. Aegrelee *AR* rakendub, sildab kontaktid *VR1* ja *EK* ning suleb teise vaherelee *VR2* mähise vooluringi. Vaherelee *VR2* kontakt lülitab sisse kontaktori *K* mähise.

Kontaktor *K* rakendub ja lülitab sisse magnetventiili *MV*. Ventiil avaneb ja algabki kastmine. Kastmine võib toimuda kahel viisil: 1) 5 minutit kastetakse ja 1 h vaheaega; 2) 15 minutit kastetakse ja 30 minutit vaheaega. Kastmise lõpul aegrelee *AR* kontakt avaneb ning vool aegrelee *AR* ja vaherelee *VR2*, seejärel aga ka kontaktori *K* mähises lakkab. Magnetventiil *MV* sulgub ja kastmine lõpeb. Kui kasutada vahereleena *VR2* sellist releed, mille kontaktide arv ja lülitamisvõimsus on küllaldane magnetventiili sisse- ning väljalülitamiseks, pole kontaktorit *K* vaja.

§ 4. Inkubaatorid ja võõrasemad

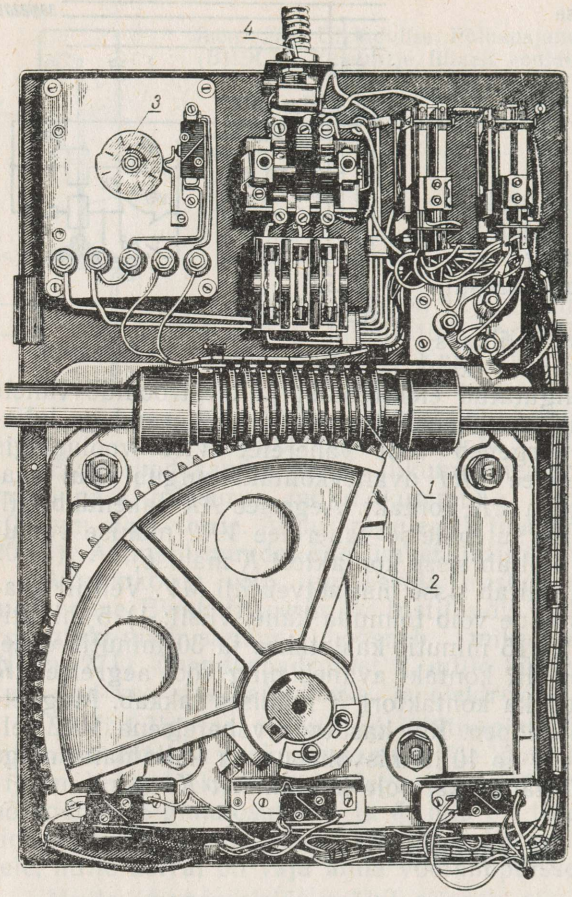
Laialdaselt rakendatakse elektrienergiat põllumajanduslindude hautamisel ja kasvatamisel. Lindude kunstlikul hautamisel inkubaatorites on nõutud temperatuuri, niiskuse ja värske õhu säilitamine ning hauderaamide perioodiline kallutamine automatiseeritud. Selleks kasutatavaid seadmeid toidetakse elektrienergiaga.

Linnuhaudejaamades kasutatakse inkubaatoreid «Рекорд»-39 (mahutavus 39 312 muna), ВИР-9 (8424 muna), «Универсал-45» (45 360 muna) ja «Универсал-15» (16 200 muna).

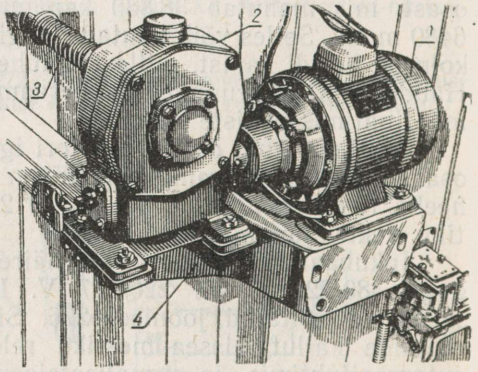
Inkubaator «Универсал-45» koosneb kahest iseseisvast osast: haudeosast, mis mahutab 38 880 kanamuna, ja koorumiskapist, kuhu mahub 6480 muna. Selles võib hautada kõigi kodulindude mune. Haudeosa koosneb kolmest eraldi kapist, millest igaühe võib seada iseseisvale tööolukorrale. Haudekapis on trummel hauderaamide paigutamiseks ja iseseisev automaatjuhtimisseadiste komplekt.

Juhtimiskilbid on inkubaatori iga kapi tagapaneeli parempoolses ülaosas. Trumlite pööramismehhanism ja juhtimiskilp on ühe kapi külgpaneelil. Need on kujutatud joonisel 274, hauderaamide kallutamisseadmestiku elektriajam aga joonisel 275.

Inkubaatori tööks on vaja häireteta elektervarustust jääva võrgupingega 380/220 V või 220/127 V. Inkubaatori elektrilülituse põhimõtteskeem on esitatud joonisel 276. Sisevalgustuse, küttekehade ja hauderaamide kallutamisseadmestiku releede vooluringide pinge on 220 V, automaatjuhtimis- ja signalisatsioonivooluringide pinge aga 24 V. Inku-



Joon. 274. Inkubaatori «Универсал-45» trumlite pöörамismehhanismi ja juhtimiskilbi üldvaade:
1 — tigu; *2* — tigusektor; *3* — aegrelee ketas; *4* — lüliti



Joon. 275. Hauderaamide kallutamisseadmestiku elektriajam:
1 — elektrimootor; *2* — reduktor; *3* — võll; *4* — nõjas

baator pingestatakse kontaktoriga *K*, mis rakendub käivitusnupule *KN* vajutamisel. Faasikatkestusrelee *FR* sildab käivitusnupu. Kui mingis faasis pinge puudub, pole sildamine võimalik. Kontaktor, faasikatkestusrelee, kaitsmed *SK1* ja kontrollvoltmeeter on eraldi toitekilbil.

Inkubaatori koorumiskapi hauderaamide kallutamisseadmestik koosneb 0,27-kW võimsusega elektrimootorist, tigureduktorist ja vahevõllist, mis kõik on kinnitatud erinõjasele, ning trumli võllil olevast teost ja tigusektorist.

Mootori juhtimislülitusse kuuluvad lüliti *VL1*, kaitsmed *SK2*, kaks releed *VR1* ja *VR2* (tüüp МКУ-48), ümberlüliti *ÜL*, mootoraegrelee *AR* lõpplülitiga *LL5* ning lõpplülitid *LL1*, *LL2* ja *LL3* (joon. 276). Aegrelee koosneb ühefaasilisest sünkroonmootorist СД-2, mille võimsus on 16 W ja pöörlemissagedus 50 p/s (3000 p/min), koos sisseehitatud reduktori ja hammasülekandega, mille väljevõllile on kinnitatud plastmassist ketas. Kettal on kaks poolringi, üks suure, teine väikese raadiusega (joon. 274). Ketta serva mööda libiseb survevedru. Kui vedru on vastu väikest poolringi, siis ta lõpplüliti *LL5* hoovale ei suru ja viimase kontaktid on lähteasendis: ühed avatud, teised suletud.

Kui aga survevedru hakkab libisema mööda suurt poolringi, surub ta lõpplüliti *LL5* hoovale ja viimase sulguvkontakt avaneb, avanevkontakt aga sulgub. Ümberlüliti *ÜL* alumise asendi puhul (kilbil käepide vasakpoolses asendis) töötab süsteem automaatselt. Pinge rakendamisel relee *VR2* rakendub ning mootor *M1* pöörab ülekandemehhanismi kaudu hauderaamidega trumleid paremale kuni asendini, kus tigusektor vajutab lõpplüliti *LL2* hoovale, relee *VR2* ennistub ja mootor *M1* seiskub.

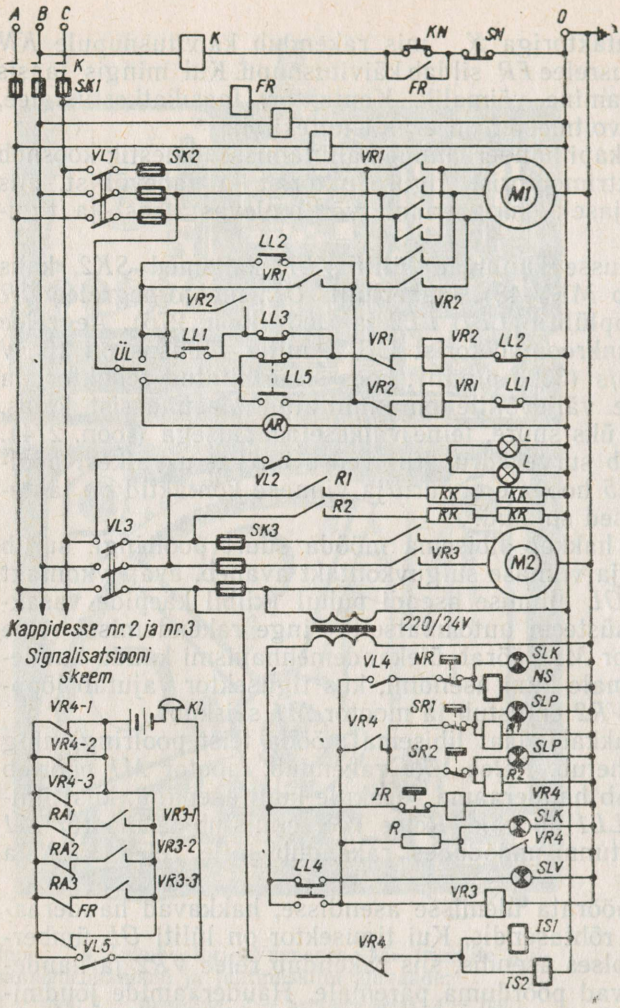
Kahe tunni pärast hakkab plaat libisema mööda teist poolringi ning kontaktide *LL5* asend vahetub. Relee *VR1* rakendub, mootor *M1* pöörleb vastassuunas ning kallutab hauderaame vasakule kuni asendini, kus tigusektor vajutab lõpplüliti *LL1* hoovale. Relee *VR1* ennistub ja mootor *M1* seiskub. Järgmise kahe tunni möödudes rakendub jälle relee *VR2* ja tsükkel kordub.

Kui ümberlüliti *ÜL* pöörata ülemisse asendisse, hakkavad hauderaamid liikuma ja seiskuvad rõhtasendis. Kui tigusektor on lüliti *ÜL* ümberlülitamise hetkel vasakpoolses asendis, siis rakendub relee *VR2* ja hauderaamidega trumlid hakkavad pöörduma paremale. Hauderaamide jõudmisel rõhtasendisse vajutab tigusektori keskmine nukk lõpplüliti *LL3* hoovale ning mootor *M1* seiskub. Kui tigusektor on lüliti *ÜL* ümberlülitamise hetkel parempoolses asendis, siis rakendub relee *VR1* ja hauderaamidega trummel hakkab pöörduma vasakule kuni äärmisse asendisse, kus sektor vajutab lõpplülitile *LL1*. Seejärel ennistub relee *VR1* ja rakendub relee *VR2* ning hauderaamid kalduvad paremale kuni rõhtasendini. Lõpplüliti *LL3* seiskab nüüd mootori *M1*.

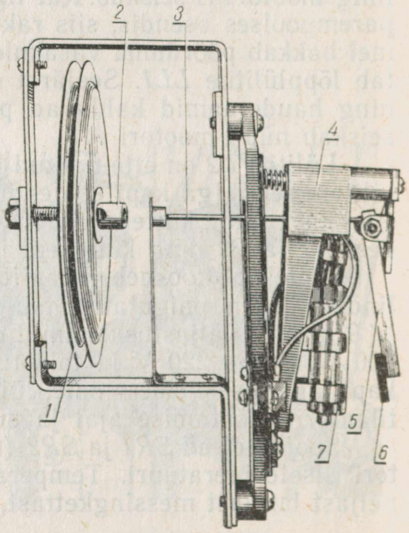
Lüliti *VL2* on ette nähtud kapi sisevalgustuslampide *L* sisse- ja väljalülitamiseks. Iga kapi soojendussüsteem koosneb neljast kahekaupa jadamisi ühendatud küttekehast *KK*, küttekehade sisse- ja väljalülitamise releedest *R1* ja *R2* ning küttekehi juhtivatest soojusreleedest *SR1* ja *SR2*.

Küttekeha koosneb mikaniitalusele mähitud 4400 mm pikkusest nikroomlindist ja on paigutatud tsingitud teraskesta, mille mõõtmed on 40 × × 915 mm. Väljastusklemmid on kesta kaanel. Ühe küttekeha võimsus on 500 W, pinge 220 V ja takistus 24,2 Ω. Küttekehad, mis on paigaldatud kapi tagumisele siseseinale, lülituvad sisse releedega *R1* ja *R2* ainult ventilaatorite töötamise ajal ja suletud uste korral.

Soojusreleed *SR1* ja *SR2* (tüüp PT-1, joon. 277) reguleerivad inkubaatori sisetemperatuuri. Temperatuuritajuriks on membraan, mis koosneb neljast lainjast messingkettast, mis on omavahel paarikaupa kokku joode-



Joon. 276. Inkubaatori «Универсал-45» elektriskeem



Joon. 277. Soojusrelee PT-1:

1 — membraan; *2* — tugi; *3* — nõel; *4* — vastukaal; *5* — kang; *6* — püsimagnet; *7* — elavhõbe-magnetlüliti

tud. Ketastevaheline ruum on täidetud eetriga. Väljaspool on membraani küljes ühel pool keermetatud saba metallklambri külgekinnitamiseks, teisel pool aga kooniline tugi jõu ülekandmiseks nõela kaudu kaheõlalisele kangile. Metallklamber on kinnitatud plastmassalusele, mille teisele küljele on vedruplaadi abil kinnitatud vastukaal.

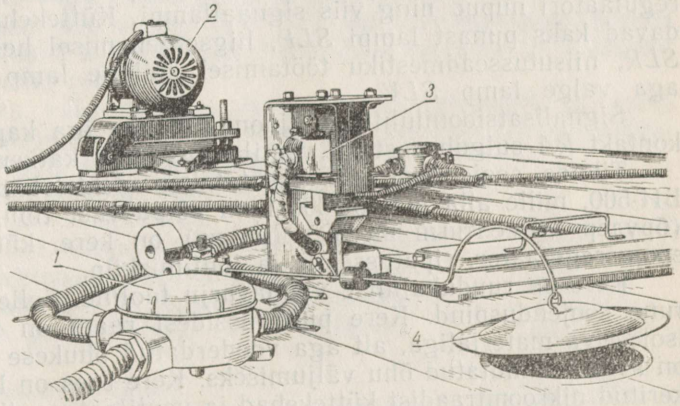
Vastukaalu küljes on eritugi, mille keskmesse on riputatud kaheõlaline kang. Kangi pikemal õlal on püsimagnet, lühemal õlal aga sisekoonus, millele toetub membraani toelt jõudu ülekandev nõel. Relee täituriks on elavhõbe-magnetlüliti, mis magneti lähenemisel kolvile katkestab silmapilkselt juhtvooluringi, magneti eemaldumisel kolvist aga suleb selle.

Inkubaatoris oleva õhu temperatuuri tõusmisel relee membraan paisub ja vajutab nõela kaudu kaheõlalisele kangile, lähendades sellel olevat magnetit elavhõbe-magnetlüliti BPM-6 ankrule. Lüliti BPM-6 kontakt avaneb, vaherelee ennistub ning küttekehad lülitatakse välja. Temperatuuri langemisel tõmbub membraan kokku, magnet eemaldub lüliti BPM-6 ankrust ning küttekehad lülitatakse sisse.

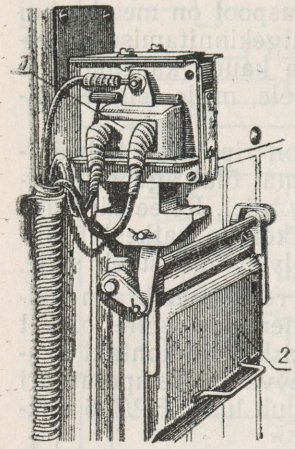
Soojendusseadmete tööd jälgib jahutusrelee *IR*. Vajalikust madalama tempratuuri korral on jahutusrelee kontakt suletud ja vaherelee *VR4* rakendunud. Seega on vaherelee *VR4* sulguvkontakt suletud ja soojendusseadmestik saab töötada. Relee *VR4* avanevkontakt on avatud, jahutusklappe liigutavad solenoidid *IS1* ja *IS2* on vooluta ning klapid on suletud.

Liigsoojenemisel jahutusrelee *IR* kontakt avaneb, vaherelee *VR4* ennistub ja küte lakkab. Ühtlasi lülituvad sisse jahutussolenoidid, klapid avanevad ning ruumist inkubaatorisse pääsev värske õhk alandab temperatuuri. Samaaegselt lülitub sisse kõlisti *KL*, mis hoiatab teenindavaid isikuid. Klappide solenoidajam on kujutatud joonistel 278 ja 279. Automaatikaseadmed reguleerivad inkubaatori temperatuuri piirides 36 ... 38° C täpsusega $\pm$0,2 K nõutud väärtusest.

Niisutusseadmestik töötab tihedas seoses ventilaatoriga, mida käitab elektrimootor *M2* (joon. 276), mille võimsus on 0,27 kW ja mida lülitatakse releega *VR3*. Relee *VR3* mähis lülitab kapi suletud ukse korral sisse lõpplüliti *LL4* sulguvkontakti kaudu. Uste avamisel lülitab lõpplüliti *LL4* avanevkontakt sisse signaallambi *SLV*, avanevkontakt aga katkestab

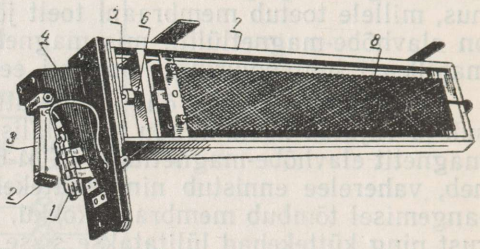


Joon. 278. Ülemise jahutusklapi solenoidajam:
1 — harukarp; *2* — elektrimootor; *3* — elektromagnet; *4* — klapp



Joon. 279. Alumise jahutusklapi solenoidajam:
1 — elektromagnet; 2 — õhuklapp

Joon. 280. Niiskusrelee:
1 — elavhõbe-magnetlüliti; 2 — püsimagnet; 3 — kang; 4 — vastukaal; 5 — nõel; 6 — vedru; 7 — raam; 8 — viskooslint



automaatjuhtimisvooluringid. Niisutusseadmestik koosneb niiskusreleest, niisutussolenoidist ja pihustist.

Niiskusrelee (joon. 280), mis reguleerib inkubaatoris oleva õhu niiskust, koosneb täiturist ja niiskusandurist. Täitur on samasugune nagu soojusreleelgi. Niiskusanduriks on viskooslint, mis paikneb relee alusele kinnitatud raamil lüliti vastaspoolsel küljel.

Kuivamisel tõmbub relee viskooslint kokku, silmus lüheneb, vedru pinguldub ning varda pea ei suru nõela kaudu kaheõlalise kangi lühemale õlale, mistõttu püsimagnetit kandev pikem õlg eemaldub vedru toimel lülitist, selle kontakt sulgub, niisutussolenoid rakendub ning tõstab kolbi, avades veele juurdepääsu veetorustikust pihustisse.

Pihustiks on ventilaatori erilisele ristakule pinguldatud jämedakoelisest riidest ketas. Juurdevoolava vee hulka reguleerib kolvi asend. Õhuniiskuse suurenemisel lint märgub ja pikeneb, niiskusrelee lülitab klapisolenoidi välja ning õhu edasine niisutamine lakkab. Riist reageerib õhuniiskuse muutumisele temperatuurist sõltumata. Õhu suhteliseks niiskuseks võib eelnevalt seada 40 ... 75%, mida säilitatakse täpsusega kuni $\pm$3%.

Inkubaatoril on rikkehelisignalisatsioon, mis rakendub pinge kadumisel, õhu liigsoojenemisel kapis või ventilaatori rihma katkemisel.

Inkubaatori esikülje ülaosas on temperatuuri-, niiskus- ja jahutusregulaatori nupud ning viis signaallampi. Küttekehade töötamisel helendavad kaks punast lampi *SLP*, liigsoojenemisel helendab roheline lamp *SLR*, niisutusseadmestiku töötamisel kollane lamp *SLK*, uste avamisel aga valge lamp *SLV*.

Signalisatsioonilülituses (joon. 276) on iga kapi jaoks andur, mille kontakt *RA* sulgub vastava ventilaatoririhma katkemisel.

Tibude soojendamiseks kasutatakse elektrivõõrasemasid БЭ-500 ja БИ-500, mille alla mahub 500 kuni 30-päevast tibu. Võõrasemal БЭ-500 (брудер элементный на 500 цыплят) on kere, küttekehad, ventilaator, soojusregulaator, riputusseade ja juhtimiskilp.

Kere on ruudukujulise vihmavarju taoline. Selle all on 3,25 m^2 suurune soojenduspind. Kere puitprussidest raam on pealt kaetud soojust isoleeriva materjaliga, alt aga vooderdatud õhukese plekiga. Kere äärtes on avad kuumutatud õhu väljumiseks. Kere sees on keraamikasüdamikule keritud nikroomtraadist küttekehad ja ventilaator, allosas aga membraantermoregulaator, mis hoiab õhu temperatuuri vahemikus 15 ... 35° C täpsusega $\pm$2 K. Võõrasema riputatakse trossi ja ploki abil lakke ning tasa-

kaalustatakse raskusega. Riputuskõrgus on reguleeritav piirides 0,6 ... 1,2 m. Küttekeha võimsus on 2 kW.

Võõrasema БИ-500 (брудер инфракрасный на 500 цыплят) koosneb neljast 500-W infrapunakiirguslambist. Kui võõrasema on riputatud 0,8 ... 1,5 m kõrgusele, soojendab iga lamp 3,7 m^2 suurust pinda.

Tibusid soojendatakse ka hõõglampide ja reflektorsoojenditega. Reflektorsoojendi koosneb küttekehast, soklist, reflektorist ja kaitsevõrgust, mis kõik riputatakse üksteisest 0,75 m kaugusele, põrandast aga 1,25 ... 1,5 m kõrgusele (sõltuvalt tibude vanusest ja ruumi temperatuurist). Soojus meelitab tibud soojendite juurde, kus nad rühmiti viibivadki. Kui ruumi temperatuur on 14 ... 16° C, säilitatakse temperatuur kohas, kus tibud viibivad esimestel päevadel, 28 ... 29° C piires, edasi aga alandatakse seda iga nelja päeva kohta 1 K võrra. 31. päeval on ruumis juba tavaline toatemperatuur. Kohas, kus viibivad parditibud, hoitakse temperatuur esimestel päevadel 28 ... 24° C piires, kuu aja jooksul aga alandatakse seda iga kahe päeva kohta 1 K võrra.

Selliste soojendite eelised seisnevad selles, et nende kohal ringleb värske õhk ja nad on hõlpsasti ülessoojendatavad.

§ 5. Elekterkaarkeevitus

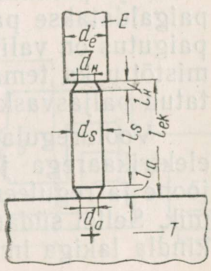
Elekterkaarkeevitust rakendatakse laialdaselt traktorite ja põllumajandusmasinate remontimisel. See on üks kaasaegsemaid mooduseid mitmesuguste metallide ja sulamite ühendamiseks.

Keevisliidete korral väheneb tarindi mass ja ühendusosade arv. Keevisliited on neetliidetest tugevamad. Elekterkeevitus nõuab vähem aega ja tööjõudu kui neetliidete tegemine.

Vastavalt vajadusele on keevitusseadmeid võimsusega sadadest vattidest kuni sadade kilovattideni, keevitusvooluga 15 ... 200 A ja kaarepingega 15 ... 60 V.

Elektrikaare kui gaasjuhi skeem on kujutatud joonisel 281. Pikuti jaguneb elektrikaar kolmeks alaks, mis erinevad üksteisest neis toimuvate protsesside poolest. Vahetult elektroodi lähedal on katoodruum, toote lähedal anoodruum ja nende vahel kaare keskosa — positiivne sammas. Kaare toitmisel vahelduvvooluga vahetavad katood- ja anoodruum töö käigus perioodiliselt (vastavalt toiteallika voolusagedusele) oma asukohta. Katoodruumi ulatus on väga väike ja tema pikkus ligilähedaselt võrdne elektroni vaba teekonna pikkusega: $l_k = 10^{-5}$ cm. Anoodruumi pikkus $l_a = 10^{-3} \ldots 10^{-4}$ cm. Kaare kogupikkuse võib l_k ja l_a väiksuse tõttu lugeda võrdseks positiivse samba pikkusega.

Kaare süütamiseks rakendatakse toiteallikast elektroodi ja toote vahele pinge ning lühiajaliselt puudutatakse elektroodiga toodet. Sulgunud vooluringi läbiv vool, mis kuumutab puutekoha elektroodi metalli keemistemperatuurile lähedasele kõrgele temperatuurile (volframil $\vartheta = 3500°$ C, terasel $\vartheta = 2500°$ C). Sel temperatuuril tekib termoelektronemissioon. Elektroodi eemaldamisel tootest lahkuvad elektronid katoodilt ja liiguvad elektrivälja mõjul anoodile. Tekib gaaslahendus — elektrikaar.



Joon. 281. Elektrikaare skemaatiline kujutis:
T — toode; *E* — elektrood; d_e — elektroodi läbimõõt; d_k — katoodtähni läbimõõt; d_s — kaare samba läbimõõt; l_a — anoodruumi pikkus; l_k — katoodruumi pikkus; l_s — kaare samba pikkus; l_{ek} — elektrikaare pikkus

Elektrikeevitusaparaatide toiteallikate põhiliigid. Toiteallikad jagunevad vahelduv- ja alalisvooluallikateks.

Vahelduvvooluallikateks on keevitustrafod ja ühefaasilised suurema sagedusega (490 Hz) sünkroongeneraatorid.

Alalisvooluallikateks on alalisvoolu-keevitusgeneraatorid ja alalditega keevitusaparaadid.

Vahelduvvoolukaare püsivaks põlemiseks peab keevitustrafo tühijooksupinge olema käsitsikeevitusel 55...75 V (nimitööpinge 30 V); alalisvoolu-keevitusgeneraatori tühijooksupinge peab olema 45...50 V.

Vahelduvvoolukeevitusel vooluga kuni 100 A võib tühijooksupinge olla kuni 100 V.

Keevitusaparaadid lülitatakse võrku pingega 220, 380 või 500 V.

Vahelduvvoolu-elektrikeevitusseadmete hulka kuuluvad keevitustrafod koos vooluregulaatoritega ja keevitusgeneraatorid voolusagedusega 490 Hz.

Vahelduvvoolu-keevitusagregaatide andmed on esitatud tabelis 34.

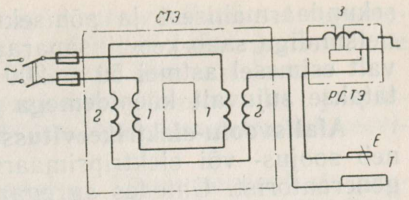
Tabel 34

Trafo mark	Vooluregulaatori mark	Trafo võimsus kVA	Primaarpinge V	Sekundaarpinge tühijooksul V	Nimivool (keevitusvool) A	Keevitusvoolu reguleerimise piirid A	Mass kg	
							trafol	regulaatoril
СТ-2	РСТ-2	15	220,380	65	200	80...250	100	80
СТБ-22	РСТЭ-22	15	220,380,500	65	200	70...300	117	83
СТЭ-23	РСТЭ-23	19,5	220,380,500	65	300	50...440	145	90
СТЭ-24	РСТЭ-24	22,75	220,380	65	350	70...500	140	90
СТЭ-32	РСТЭ-32	29	220,380,500	65	450	100...700	185	130
СТЭ-34	РСТЭ-34	30	220,380	60	500	150...700	200	120
СТН-500	—	30	220,380	60	500	150...700	270	—
СТН-700	—	42	220,380	60	700	255...900	380	—
СТН-1000	—	65	220,380	65	1000	250...1200	—	—
СТАН-0	—	8,7	110,220,380	63...83	150	25...150	80	—
СТАН-1	—	22	220,380	60...70	480	60...480	185	—

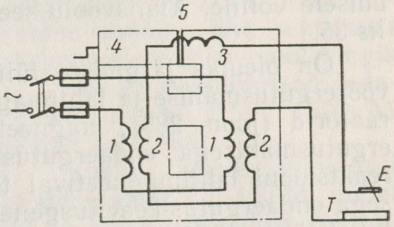
Keevitustrafode põhitüübid: tavalise magnetilise puistega, eraldi paispooliga РСТЭ ja kahe südamikuga toiteallikad СТЭ; tavalise magnetilise puistega, sisseehitatud reaktiivpooliga ja ühe südamikuga trafod СТН; suurema magnetilise puistega, liikuva magnetšundiga ja ühe südamikuga trafod СТАН.

Trafost СТЭ ja regulaatorist РСТЭ koosneva keevitusagregaadi elektromagnetilise põhimõtte skeem on kujutatud joonisel 282. Ühefaasilisel keevitustrafol on eraldi varbsüdamik. Primaarmähis *1* on jaotatud kaheks osaks ja paikneb kahest poolist koosneva sekundaarmähise *2* sees. Poolid paigaldatakse paarikaupa kahele südamikusambale. Mähiste mõõtmed ja paigutus on valitud sellise arvestusega, et trafol on võimalik väike puiste, mistõttu ka tema induktiivtakistus on väike. Sekundaarmähis on valmistatud paljasvasklatist. Trafo on kaetud kestaga.

Vooluregulaator (paispool), mis ühendatakse trafo sekundaarringi elektrikaarega jadamisi, kujundab keevitusagregaadil langeva tunnusjoone ja reguleerib keevitusvoolu. Paispoolil on liikuva plekipakiga südamik. Sellel südamikul paikneb paljasvasklatist mähis *3*, millel on kuumakindla lakiga immutatud asbestvahekud.



Joon. 282. Trafost СТЭ ja vooluregulaatorist РСТЭ koosneva keevitusagregaadi elekromagnetilise põhimõtte skeem:
E — elektrood; *T* — toode



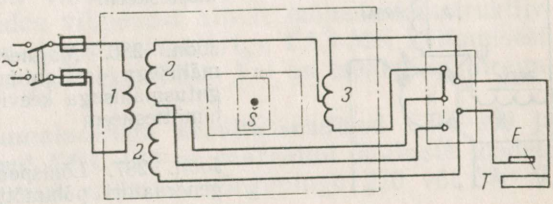
Joon. 283. Keevitusaparaadi CTH elektromagnetilise põhimõtte skeem:
E — elektrood; *T* — toode

Keevitusaparaadi CTH elektromagnetilise põhimõtte skeem on kujutatud joonisel 283. Keevitustrafo ja vooluregulaator on paigaldatud ühisele südamikule. Aparaadil on kolm mähist: primaarmähis *1*, sekundaarmähis *2* ja paispooli mähis *3*. Sekundaarmähis ja ebatakistusega mähis on ühendatud vastupidiselt. Aparaadi magnetjuhtmel on liikuv ike *4*, millega saab muuta õhupilu *5* (keevitusvoolu). Õhupilu suurendamisel keevitusvool tugevneb, vähendamisel aga nõrgeneb. Trafod CTH on kompaktsed. Nende mass on ühesuguse võimsuse korral väiksem kui agregaadil СТЭ, РСТЭ.

Keevitusaparaadi CTAH elektromagnetilise põhimõtte skeem on kujutatud joonisel 284. Keevitustrafo ja vooluregulaator on paigutatud ühisele südamikule. Aparaadi mähised paiknevad järgmiselt: isoleeritud vasktraadist primaarmähis *1* asetseb esimesel äärmisel südamikusambal, paljasvasest põhisekundaarmähis *2* asetseb samal südamikusambal, ebatakistusega sekundaarmähis *3* aga teisel äärmisel sambal. Põhi- ja ebatakistusega sekundaarmähised on ühendatud teineteisega päripidiselt.

Äärmiste südamikusammaste vahel asetseb kahe jääva õhupiluga keskmine liikuv südamikusammas *S*, mis täidab magnetšundi ülesannet. Selle kaudu osa magnetvoost lühistub. Lühistatava magnetvoo väärtus sõltub šundi asendist. Keevitusvoolu saab reguleerida astmeliselt sekundaarmähise keerdude arvu muutmisega ja sujuvalt keskmise südamikusamba asendi muutmisega.

Sekundaarmähise sektsioonide astmeliseks muutmiseks on madalpingepoole klemmikilbile täiendavalt toodud kolm väljaviiku. Esimesel astmel võimaldavad need ühendada kogu ebatakistusega sekundaarmähise ja põhisekundaarmähise ühe sektsiooni, teisel astmel aga osa ebatakistusega



Joon. 284. Keevitusaparaadi CTAH elektromagnetilise põhimõtte skeem:
E — elektrood; *T* — toode

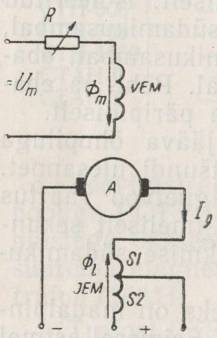
sekundaarmähisest ja põhisekundaarmähise mõlemad sektsioonid. Magnetšundiga saab keevitusaparaadi CTAH-1 keevitusvoolu reguleerida sujuvalt esimesel astmel 50 ... 200 A, teisel astmel 200 ... 480 A. Šunti nihutatakse sujuvalt käepidemega varustatud kruvimehhanismi abil.

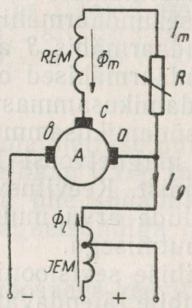
Alalisvoolu-elektrikeevitusseadmed. Alalisvoolu-keevitusagregaat koosneb soojus- või elektriprimaarmootorist ja erilisest alalisvoolu-keevitusgeneraatorist. Ühtedes agregaatides on mootor ja generaator ühendatud kokku elastse siduriga, teistes aga on elektrimootor ja generaator ehitatud ühisele võllile. Alalisvoolu-keevitusagregaatide andmed on esitatud tabelis 35.

On olemas järgmiste lülitustega keevitusgeneraatoreid: magneetiva võõrergutusmähise ja lahtimagneetiva jadaergutusmähisega keevitusgeneraatorid (joon. 285); magneetiva rööpergutus- ja lahtimagneetiva jadaergutusmähisega endaergutus-keevitusgeneraatorid (joon. 286); ankrureaktsiooni lahtimagneetival toimel põhinevad magneetiva ergutusmähisega endaergutus-keevitusgeneraatorid (joon. 287). On võimalikud ka esitatud lülituste kombinatsioonid.

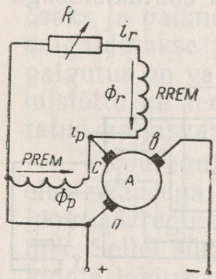
Esimese lülituse puhul (joon. 285) on generaatoril ja mootoril ühine võll ning nad on paigaldatud ühisesse keresse. Koos juhtimisaparatuuriga moodustavad nad üheühikulise muunduri ПСО-120. Muunduri kere külge kesta alla on paigaldatud pakettlüliti mootori juhtimiseks ja reostaat *R* võõrergutusmähist *VEM* läbiva voolu sujuvaks reguleerimiseks. Võõregutusmähis saab toite vahelduvvooluvõrgust läbi seleenalaldi. Alaldi ühendatakse asünkroonmootori faasimähiste väljavõtete vahele, kus pinge on ligikaudu 50 V.

Generaatoril on neli pea- ja neli lisapoolust. Ühele peapooluste paarile on paigutatud võõrergutusmähis, teisele paarile aga kahest sektsioonis *S1* ja *S2* koosnev lahtimagneetiv jadaergutusmähis *JEM*. Iga sekt-





Joon. 285. Magneetiva võõrergutusmähisega ja lahtimagneetiva jadaergutusmähisega keevitusgeneraatori põhimõtteskeem



Joon. 286. Magneetiva rööpergutusmähisega ja lahtimagneetiva jadaergutusmähisega keevitusgeneraatori põhimõtteskeem

Joon. 287. Lõhispoolustega keevitusgeneraatori põhimõtteskeem

sioon koosneb kahest poolist ja paikneb kahel poolusel. Esimesel reguleerimisastmel (30...60 A) on lülitatud sisse mõlemad jadaergutusmähise sektsioonid, teisel astmel aga (60...120 A) ainult üks sektsioon.

Teise lülituse puhul (joon. 286) on generaator koos mootori ja juhtimisaparatuuriga paigaldatud ühisesse keresse. Nad moodustavad keevitusmuunduri ПСО-500.

Generaatoril on neli pea- ja kaks lisapoolust. Ühele peapooluste paarile on paigutatud rööpergutusmähis *REM*, teisele aga neljast poolist koosnev kahesektsiooniline lahtimagneetiv jadaergutusmähis *JEM*. Keevitusvoolu reguleeritakse astmeliselt lahtimagneetimismähise ühe sektsiooni sisse- ja väljalülitamisega, sujuvalt aga rööpergutusmähise vooluringis oleva reostaadiga *R*. Esimesel astmel (125...300 A) on mõlemad jadaergutusmähise sektsioonid sisse lülitatud. Teisel astmel (250...600 A) on sisse lülitatud ainult üks jadaergutusmähise sektsioon.

Kolmanda lülituse puhul (joon. 287) kuulub keevitusmuunduri ПС-300-М komplekti lõhispoolustega keevitusgeneraator СГ-300-М, millel on neli peapoolust: kaks põhipoolust *PREM* ja kaks ristpoolust *RREM*. Kommuteerimistingimuste parendamiseks on eri polaarsusega põhi- ja ristpooluste vahele asetatud kaks lisapoolust. Põhi- ja ristpooluste teljed on omavahel 78° nurga all.

Magneetivad rööpergutusmähised koosnevad kahest sektsioonist, iga sektsioon aga kahest poolist. Üks sektsioon on paigutatud põhipoolustele, teine ristpoolustele. Sektsioonid on ühendatud rööbiti ning saavad toite generaatori ankru postiivselt kolmandalt lisaharjalt.

Esimese sektsiooni magneetimisergutuse mõjul on põhipoolused küllastatud, s. t. nende magnetvoog muutub tööajal vähe. Seetõttu on pinge keevitamisel harjade *a* ja *c* vahel peaaegu jääv, mis on aga generaatori stabiilseks tööks väga oluline.

Teise sektsiooni vooluringi on ühendatud reostaat ergutusvoolu muutmiseks ristpooluste mähises. Ristpoolused on küllastamata olukorras. Keevitusvoolu tugevnedes väheneb ristpooluste magnetvoog ankru magnetvoo lahtimagneetiva toime, s. t. ankrureaktsiooni tõttu. Põhipooluseid magneeditakse samal ajal ankrureaktsiooni arvel, olgugi et küllastuse tõttu nende magnetvoog peaaegu ei muutu. Seega muutub töötamisel pinge harjade *b* ja *c* ning *a* ja *b* vahel suurtes piirides.

Keevitusvool seatakse vajalikule väärtusele ristpooluste ergutusmähise vooluringis oleva reostaadiga. Töö käigus säilitab keevitusvool ankrureaktsiooni arvel automaatselt oma väärtuse. Lõhispoolustega generaatoris etendab ankrureaktsioon samasugust osa nagu lahtimagneetiv jadaergutusmähis rööp- ja võõrergutusgeneraatoris.

Harju generaatori СГ-300-М reguleerimiseks neutraaljoonelt ei nihutata. See parendab kommuteerimistingimusi ja suurendab generaatori töökindlust.

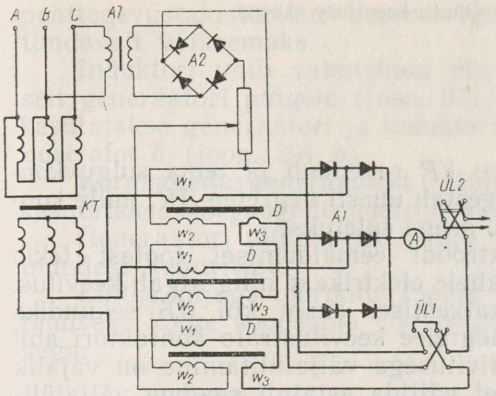
Kaarkeevitamiseks vabas õhus (põllu- ja montaažitingimustes) toodetakse agregaati САК-2М-VI. See koosneb keevitusgeneraatorist СМГ-2М-VI ja auto bensiinimootorist ГАЗ-МК, mis on omavahel ühendatud elastse siduriga.

Generaator СМГ-2М-VI on ehituselt ja omadustelt väga sarnane generaatoriga СГ-300-М, erinedes viimasest ainult mõnede konstruktiivsete iseärasuste poolest, mis on tingitud mootoriga ГАЗ-МК käitamisest. Mootor ГАЗ-МК on kohandatud paikseks tööks. Tal on tsentrifugaalregulaator.

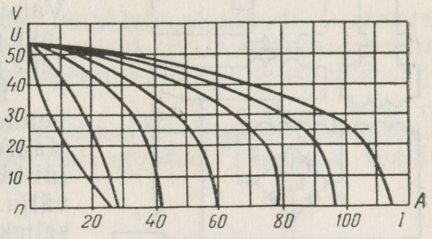
Kolmefaasilised germaaniumaladitega keevitusseadmed СПГ-100 ja seleenalalditega keevitusseadmed СПС-100 on määratud õhukeste toodete keevitamiseks. Neil on ühesugused andmed: võrgupinge 220 või 380 V,

Tabel 35

Agregaadi mark	Generaatori						Mootori					Agregaadi			
	mark	U_0 V	U_0 V	$ПВ\%$	I_n A	voolu reguleerimise piirid A	mark	P kW	U V	n p/s	n p/min	cos φ	ehitusviis	kasutegur	mass kg
ПСО-120	ГСО-120	48 . . . 65	25	65	120	30 . . . 60 60 . . . 120	АВ-42-2	4	380/220	48,3	2900	0,88	Ühise kerega, teisaldatav	0,47	155
ПСО-500	ГСО-500	58 . . . 86	40	65	500	125 . . . 300 300 . . . 600	А-72-4	28	380/220	24,2	1450	0,86	Ratastel	0,54	780
ПС-300-М	СГ-300-М	50 . . . 76	30 . . . 35	65	340	80 . . . 380	А-62-4	14	380/220	24,2	1450	0,87	„	0,57	600
САК-2М-VI	СМГ-2М-VI	50 . . . 76	30	65	300	75 . . . 340	ГАЗ-МК	22,1 (30 hj)	380/220	23,8 . . . 25,8	1430 . . . 1550	—	Kahest masinast koosnev, kantav, raamile paigaldatud, katusega	—	900



Joon. 288. Kolmefaasilise alaldiga keevitusseadmete СПГ-100 ja СПГ-100 skeem



Joon. 289. Alaldiga keevitusseadme СПГ-100 välistunnusjooned

vallaspinge 60 ... 65 V, nimivool $I_n = 100$ A, kui $ПВ = 100\%$, kasutegur 0,5 ... 0,6, voolureguleerimise piirid 20 ... 100 A, $\cos\varphi = 0{,}6 \ldots 0{,}65$, mass 150 kg. Kumbki seade koosneb kolmefaasilisest keevitustrafost *KT* (joon. 288), kolmest küllastuspaispoolist *D* ja alaldiplokist *A1*.

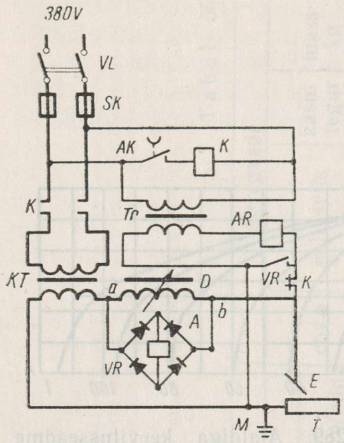
Küllastuspaispool koosneb omakorda südamikust, ühest vahelduvvoolumähisest w_1, kahest eelmagneetivast alalisvoolumähisest w_2 ja tagasisidestusmähisest w_3. Kõik eelmagneetimismähised on ühendatud jadamisi, et neis vahelduvmagnetvälja poolt indutseeritud elektromotoorjõudude summa võrduks nulliga. Mähiseid w_2 toidetakse alalisvooluga abitrafost *AT* läbi alaldiploki *A2*. Eelmagneetimisvoolu ja seadme talitlusolukorda muudetakse potentsiomeetriga. Tagasisidestusmähised w_3 lülitatakse sisse ja välja ümberlülitiga *ÜL1*. Nad võimaldavad paispoolide induktiivsust töö käigus vajalikus suunas automaatselt muuta.

Keevitusseadme СПГ-100 välistunnusjooned mitmesugustes talitlusolukordades on esitatud joonisel 289. Ümberlülitiga *ÜL2* muudetakse elektroodide polaarsust. Seadmel on ventilaatoriga sundjahutus.

Ohutu keevituse lülitused. Käsitsikeevitusel kasutatavatel trafodel vallaspingega üle 70 V peavad olema seadmed, mis tagavad kaare katkemisel mitte üle 5 sekundi kestva vallasseisundi (ГОСТ 95-51). Metallanumates ja veemahutites töötamisel on kohustuslik kasutada seadet, mis kaare katkemisel katkestaks keevitusvooluringi toiteallika vallaspingest sõltumata.

«Tsentroelektromontaž» Projekteerimise ja Katsetuse Keskbüroos loodud ohutu keevituse lülitus on kujutatud joonisel 290. Vinnaklüliti *VL* sisselülitamisega antakse pinge abitrafole *Tr*. Pneumaatilise aegrelee *AR* mähisest, paispoolist *D*, keevitustrafo *KT* ja trafo *Tr* sekundaarmähisest koosnevat vooluringi läbib vool, kuid see on nii nõrk, et aegrelee *AR* ei rakendu. Kui elektrood *E* puudutab toodet *T*, sillatakse mähised *D* ja *KT*. Vool aegrelee *AR* mähises tugevneb, aegrelee rakendub ning lülitab oma kontaktiga kontaktori *K* mähise liinipingele.

Kontaktor lülitab oma peakontaktidega sisse keevitustrafo *KT*, abikontaktiga aga lülitab keevitusvooluringist (*KT* — *D* — *E* — *T*) aegrelee mähise välja. Viivituse tõttu jääb aegrelee kontakt siiski suletuks. Keevitusvooluringi läbib töövool. Paispoolis *D* tekib pingelang, millest piisab temaga alaldi *A* kaudu rööbiti ühendatud vaherelee *VR* rakendumiseks.



Joon. 290. Ohutu keevituse skeem

Vaherelee *VR* rakendub ja tema sulguvkontakt pingestab uuesti aegrelee *AR*, mille kontakt jääb seega suletuks.

Elektroodi eemaldamisel tootest tekib nende vahele elektrikaar ning algab keevitus. Kaare katkemisel enam kui 0,5 sekundiks lülitab aegrelee keevitustrafo kontaktori abil välja. Viivitusega väljalülitamine on vajalik selleks, et vältida asjatult seadme väljalülitamist kaare juhuslikul lühiajalisel katkemisel.

§ 6. Metallide induktsioonkuumutus

Auto- ja traktoritehastes rakendatakse tänapäeval laialdaselt karastust, millele eelneb kõrgsagedusmagnetväljas kuumutamine.

Kõrgsagedusmagnetvälja energiat on hõlpus koondada vajalikku kohta. See on väga hinnaline omadus ja seda rakendatakse pindkarastusel.

Pindkarastus tagab suure tööviljakuse, ökonoomsuse, protsessi automatiseeritavuse ja töötervishoiu tingimuste parendamise.

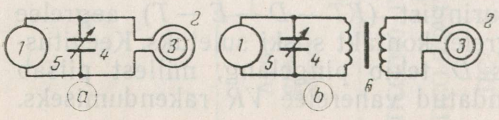
Soojuse üheaegse eraldumise tõttu kogu toote ruumalas tagab induktsioonkuumutus sepistamisel ühtlase temperatuurijaotuse ja töö toimub märksa lühema ajaga kui leekahjudes kuumutamisel.

Metallide induktsioonkuumutusseadmete põhimõtted. Metallide induktsioonkuumutusseade (joon. 291) koosneb generaatorist *1*, induktorist *2*, mille sisse asetatakse kuumutatav toorik *3*, muudetava mahtuvusega kondensaatorpatareist *4* ja juhtmetest *5*.

Generaator on kõrgsagedusenergia allikaks ja ühendatakse juhtmete kaudu induktoriga.

Induktor kujutab endast pooli (või juhet) ja on elektrienergia tarbijaks. Teda läbiv vool tekitab kõrgsagedusmagnetvälja, mis indutseerib pöörisvoolu vahetult toorikus eneses. Metalli läbiv pöörisvool tekitab temas soojust.

Induktor koos toorikuga kujutab endast õigupoolest suure puistega õhktrafot, mille primaarmähiseks on induktori juhe, sekundaarringiks aga toorik. Sellise tarbija võimsustegur on väike ja ta nõuab tugevat magneetimisvoolu. Induktori väikese võimsusteguri parendamiseks ning generaatori vabastamiseks induktiivvoolust ühendatakse induktoriga ja generaatoriga rööbiti muudetava mahtuvusega kondensaatorpatarei, et võnkeringi saaks häälestada vooluresonantsi. Sellises lülituses töötab generaator



Joon. 291. Metallide induktsioonkuumutusseadmete põhimõtteskeemid:
a — ilma pingemadaldustrafota; *b* — trafoga; *1* — generaator; *2* — induktor; *3* — toorik; *4* — kondensaator; *5* — juhtmed, *6* — trafo

puhttegevustakistusliku koormusega ja tema paigaldusvõimsus osutub tunduvalt väiksemaks.

Induktori võib valmistada nii, et tema keerdude arv vastab otseselt generaatori pingele (joon. 291, *a*). Kui keerdude arv on teistsugune, kasutatakse generaatori ja induktori tööpingete sobitamiseks pingemadaldustrafot *6* (joon. 291, *b*).

Kõrgsagedusgeneraatorid. Metallide induktsioonkuumutusseadmetes kasutatakse kõrgsagedusenergia allikatena masin- ja lampgeneraatoreid.

Generaatori tüübi valik sõltub voolusagedusest, kasutamiskuludest ja muudest teguritest.

Lihtsa kujuga toorikute (pöörd- või lamekehade) ühekordseks kuumutamiseks kõige soodsama voolusageduse võib arvutada järgmise avaldisega:

$$f_{opt} \approx \frac{5 \cdot 10^4}{\delta^2} \text{ Hz}, \tag{468}$$

kus δ on kuumutatava kihi paksus mm.

Nukkide ja lohkudega toorikute ühekordseks kuumutamiseks soovitatakse järgmist kogemuslikku avaldist:

$$f_{opt} \approx \frac{10^5}{\delta^2}. \tag{469}$$

Katkematul järgemisi kuumutamisel võib sagedus olla kaks korda väiksem.

Kõrgsagedustel (üle 10 kHz) saab kasutada ainult lampgeneraatoreid, sest masingeneraatoreid nendele sagedustele ei toodeta.

Suurematel sagedustel (kuni 10 kHz) võib kasutada nii masin- kui ka lampgeneraatoreid. Masingeneraatorite hooldamiskulud on aga natuke väiksemad kui lampgeneraatoritel, sest masingeneraatorid ei vaja nii sagedast osade vahetamist kui lampgeneraatorid.

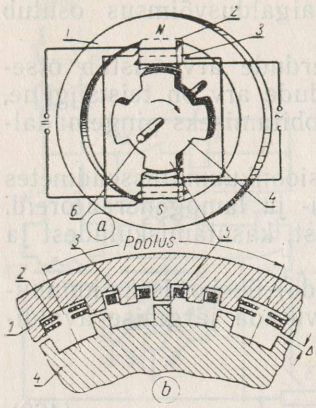
Kasutegur on masingeneraatoritel (0,67 ... 0,75) suurem kui lampgeneraatoritel (0,45 ... 0,70).

Masingeneraatoreid kasutatakse vänt- ja jaotusvõllide, traktorite rullide, keskmise ja suure mooduliga hammasrataste, üle 30 mm läbimõõduga silindriliste toorikute ja silindrihülsside karastamiseks. Lampgeneraatoreid kasutatakse pisitoorikute ja väikese mooduliga hammasrataste ning kuni 100 mm läbimõõduga silindriliste toorikute karastamiseks kuumutatava kihi väikese sügavuse korral (1 ... 2,5 mm).

Toodetakse kahte tüüpi suurema voolusagedusega masingeneraatoreid: tavalisi sünkroongeneraatoreid sagedustele 50 ... 500 Hz ja induktorgeneraatoreid sagedustele 500 ... 10 000 Hz.

Masingeneraatoreid käitatakse asünkroon- või sünkroonmootoriga, mida toidetakse elektrivõrgust sagedusega 50 Hz. Generaatorite võimsused kõiguvad piirides kümnetest vattidest kuni sadade kilovattideni. Suurema sagedusega induktormasingeneraatorite töö põhineb elektromagnetilise induktsiooni seadusel $e = -\frac{d\Phi}{dt}$.

Joonisel 292 on kujutatud Lorenzi-Schmidti süsteemi masingeneraatori ehituse põhimõte (*a*) ning staatori ja rootori hammaste omavaheline paigutus (*b*). Ergutusmähis *2* ja ankrumähis *3* paiknevad staatori *1* poolustel *N* ja *S*. Generaatori rootor *4* on hambuline. Rootoril on hambaid kaks korda vähem kui staatoril. Pöörisvoolude ja hüstereesikao vähenda-



Joon. 292. Lorenzi-Schmidti süsteemi masingeneraatori ehituse põhimõte (*a*) ning staatori ja rootori hammaste omavaheline asetus (*b*):
1 — staator; *2* — ergutusmähis; *3* — ankrumähis; *4* — rootor; *5* — rootori hambad; *6* — võll

miseks on staatori ja rootori magnetring valmistatud õhukesest elektrotehnilisest terasplekist. Ergutusmähist toidetakse eriergutist.

Ergutusmähisega tekitatava magnetvoo teekonna tõkestus rootori pöörlemisel muutub. Kui rootori hambad asetsevad staatori hammastega kohakuti on magnetringi tõkestus väikseim ja magnetvoog kõige tugevam, kui aga staatori hamba vastas asetseb rootori hammaste vahemik, siis on magnetringi tõkestus suurim ja magnetvoog kõige kõrgem. Seega pulseerib rootori pöörlemisel pooluste magnetvoog aja t jooksul maksimaalväärtuselt Φ_{max} minimaalväärtusele Φ_{min} ja vastupidi. Ankrumähises *3* indutseeritakse suurema sagedusega vahelduvelektromotoorjõud, mistõttu neid generaatoreid nimetatakse pulsatsioon-induktorgeneraatoriteks. Indutseeritud elektromotoorjõu väärtus on võrdeline magnetvoo muutumise kiirusega, magnetvoo muutumise kiirus aga on võrdeline vahega $\Phi_{max} - \Phi_{min}$ ja rootori hammaste liikumiskiirusega rootori pooluste suhtes. Mähise puudumine rootoril võimaldab anda viimasele õige suure ringkiiruse ja lihtsustab generaatori ehitust.

Generaatori elektromotoorjõu sageduse f määravad rootori poolusepaaride arv p_2 ja rootori pöörlemissagedus n ning see on arvutatav avaldisega $f = p_2 n$, kus pöörlemissagedus n on p/s.

Sageduse suurendamine on võimalik rootori pöörlemissageduse ja poolusepaaride arvu suurendamisega. Rootori pöörlemissagedust piirab toitevõrgu sagedus f_v. Rootori poolusepaaride (hammaste) arvu suurendamine põhjustab tema läbimõõdu ja ringkiiruse suurenemise, mille piir

Tabel 36

Muundur	ПВ-50/2500	ПВС-100/2500-1	ПВ-100/8000-IV
	Generaator		
Võimsus kW	50	100	100
Pinge V	750/375	750/375	750/375
Ühefaasiline vool A	74/148	148/296	148/296
Sagedus Hz nimipöörlemissagedusel	2650	2650	—
Sagedus Hz sünkroonpöörlemissagedusel	—	—	8000
Võimsustegur (mahtuvuslik)	0,9	0,9	0,9
Ergutuspinge V	60	60	115
Ergutusvool A	5...6	6...7	8...10
	Mootor		
Võimsus kW	60	125	130
Muunduri kasutegur	0,75	0,75	0,72

on olemasolevatel materjalidel 150 m/s. Kiiruse ja sageduse suurendamine kutsub esile hüstereesi- ja pöörisvoolukao suurenemise generaatori teraskehas ning vähendab generaatori kasutegurit.

Nüüdisaegsete masingeneraatorite maksimaalne sagedus on 10 kHz. Meie maa tehastes on laialdaselt kasutusel induktsioon-elektrikuumutusseadmed sagedusele 500 ja 1000, eriti aga 2500 ja 8000 Hz.

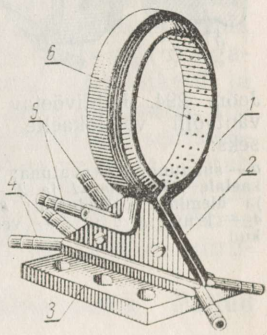
Kuni 250 kW võimsusega mootor-generaatoragregaadid valmistatakse tänapäeval kahe laagriga üheankrumuunduritena, millel kolmefaasiline mootor ja suurema sageduse generaator on ehitatud kokku ühisesse keresse ning rootorid paigutatud ühisele võllile. Suurema sageduse muundurite andmed on esitatud tabelis 36.

Sellise masinagregaadi maksimaalne kasutegur on 70 . . . 85%.

Induktorid. Metallide induktsioonkuumutus põhineb elektromagnetenergia ülekandmisel induktorist toorikule ilma juhtmeteta. Induktori kuju, kohandatuna teatud toorikutele, võib olla väga mitmesugune.

Induktorite põhitüübid on järgmised: silindriliste välispindade karastuseelseks kuumutuseks, silindriliste sisepindade karastuseelseks kuumutuseks, tasapindade karastuseelseks kuumutuseks, keerukate pindade karastuseelseks kuumutuseks, toorikute sepistuseelseks läbikuumutuseks.

Induktor silindriliste välispindade karastuseelseks kuumutuseks on kujutatud joonisel 293. Tal on järgmised põhiosad: kuumutatavas toorikus voolu esilekutsuvat magnetvälja tekitav indutseerimisjuhe *1*, latt *2* voolu juhtimiseks induktorisse, klots *3* induktori kinnitamiseks pingemadaldustrafole, torud *4* ja *5* jahutusvee juhtimiseks klotsi ja indutseerimisjuhtmesse. Karastusvedelik satub tooriku pinnale läbi juhtmes olevate avade *6*.



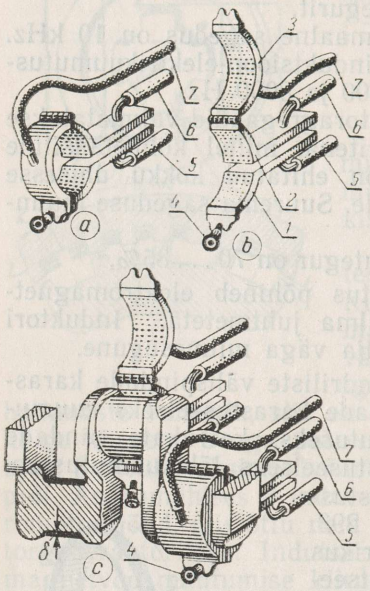
Joon. 293. Induktor silindrilise tooriku ühekordseks karastuseelseks kuumutuseks:
1 — indutseerimisjuhe; *2* — voolujuhtimislatid; *3* — kinnitusklots; *4* ja *5* — torud; *6* — veepiserdusavad

Juhe on põhiosa, millest sõltub karastuse kvaliteet (muude ühesuguste tingimuste korral). Teistel osadel on ainult abistav iseloom. Näiteks peab tooriku kogu külgpinna karastamisel olema indutseerimisjuhtme laius tooriku kogupikkusest ligikaudu õhupilu võrra väiksem. Siis kuumeneb kogu külgpind ühtlaselt ja karastatud kihil on peaaegu ühesugune sügavus.

Kui silindrilise pinna osalisel, mitte kogu tooriku pikkuses karastamisel on induktori laius suurem kui kümme õhupilu laiust, osutub karastatud kihi pikkus induktori laiusest 10 . . . 20% väiksemaks. Seda tuleb induktori valikul silmas pidada. Kui induktori laius on väiksem kui kümme õhupilu laiust, tehakse karastatud kihi ebaühtluse vältimiseks ka õhupilu ebaühtlane (keskkohalt laiem ja äärtelt kitsam). Selleks treitakse induktori keskossa 2 . . . 3 mm sügavune rõngakujuline soon.

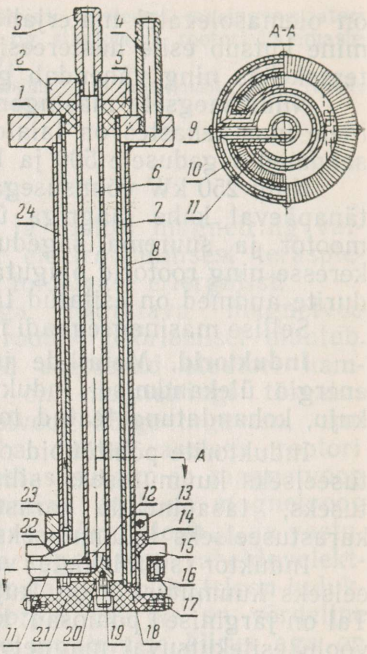
Joonisel 294 kujutatud lahtivõetav induktor mootori КДМ-46 väntvõlli vändakaelte karastuseelseks kuumutuseks koosneb kolmest põhiosast: alumisest ja ülemisest poolinduktorist *1* ja *2* ning rehvist *3*. Need osad, mis on valmistatud vasest ja liidetud ühtseks tervikuks, moodustavad karastatava vändakaela ümber kinnise vooluringi. Kohas, kus poolinduktorid puutuvad kokku rehviga, on neil kontaktid. Elektrilise puute usaldatavuse tagab kruvi *4* surve. Alumise poolinduktori külge on ühendatud veetoru otsik *5*, ülemise külge otsik *6* ja rehvi külge otsik *7*.

Induktor silindriliste sisepindade (näiteks sisepõlemismootori hüls-



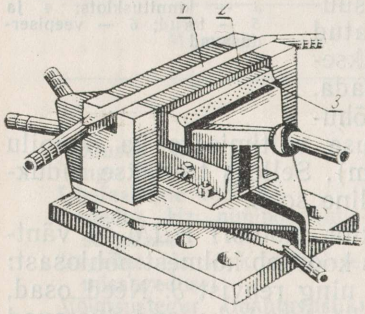
Joon. 294. Lahtivõetav induktor väntvõlli vändakaelte kuumutuseks:

a — suletuna; *b* — avatuna; *c* — vändakaelale asetatuna; *1* ja *2* — alumine ja ülemine poolinduktor; *3* — rehv; *4* — kruvi; *5*, *6* ja *7* — veetoru otsikud



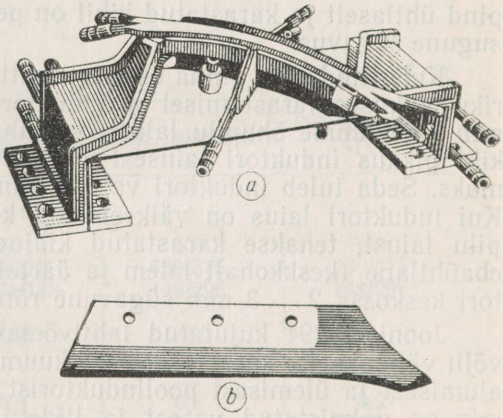
Joon. 295. Induktor sisepõlemismootori silindrihülsside karastuseelseks kuumutuseks:

1 ja *2* — sisemise ja välimise torulati äärik; *3* ja *4* — otsikud; *5* — tüll; *6* — sisemine torulatt; *7* ja *8* — välimise torulati seinad; *9* ja *11* — vahelik; *10* — indutseerimisjuhe; *12* — sulgurisse freesitud soon; *13* ja *19* — kruvid; *14* — võru; *15* — plaat; *16* — isolatsioon; *17* — tihvt; *18* ja *20* — sulgurid; *21* — ketas; *22* — kiil; *23* — klamber; *24* — silindriline õõs



Joon. 296. Magnetjuhtmega induktor tasapindade karastuseelseks katkematuks järgemisi kuumutamiseks:

1 — indutseerimisjuhe; *2* — magnetjuhe; *3* — pihusti karastusvee pritsimiseks



Joon. 297. Adraterade karastamise induktor indutseerimisjuhtme keskkohast tehtud väljavõttega:

a — induktor; *b* — adratera

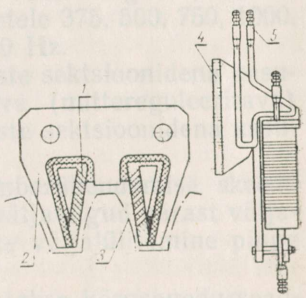
lide) karastuseelseks kuumutuseks on kujutatud joonisel 295. Induktor hülsside karastuseelseks katkematuks järgemisi kuumutamiseks koosneb võrukujulisest indutseerimisjuhtmest, torulattidest, magnetjuhtmest, veetoru otsikutest ja kontaktklotsidest. Seda induktorit toidetakse masingeneraatorist võimsusega 200 kW ja sagedusega 10 000 Hz.

Indutseerimisjuhe *10* on valmistatud nelikantvasktorust (külje pikkused 12 ja 20 mm ning seina paksus 3 mm). Pinge rakendatakse indutseerimisjuhtmele läbi torulattide *6*, *7* ja *8*, mis on üksteisest isoleeritud mikaniittülliga *5*. Karastusvesi juhitakse kummiriidest torude kaudu otsikutesse *3* ja *4*, kust see voolab mööda torulatte indutseerimisjuhtmesse *10* ning pritsitakse läbi rõnga avade jugadena 30° all karastatava hülsi peegelpinnale. Ühtlasi jahutab vesi ka torulatte ja indutseerimisjuhtme rõngast.

Magnetjuhtme ülesanne on vältida rõnganähtust. Nii selle kui ka lähedusnähtuse mõjul surutakse vool rõngakujulise indutseerimisjuhtme sisepinnalt välispinnale. Induktori magnetjuhe koostatakse elektrotehnilisest terasplekist ja paigutatakse indutseerimisjuhtmele lakkriidest või mikaniidist vahekihiga *16* isoleeritult. Teda hoiavad kohal tekstoliitkettad *21*.

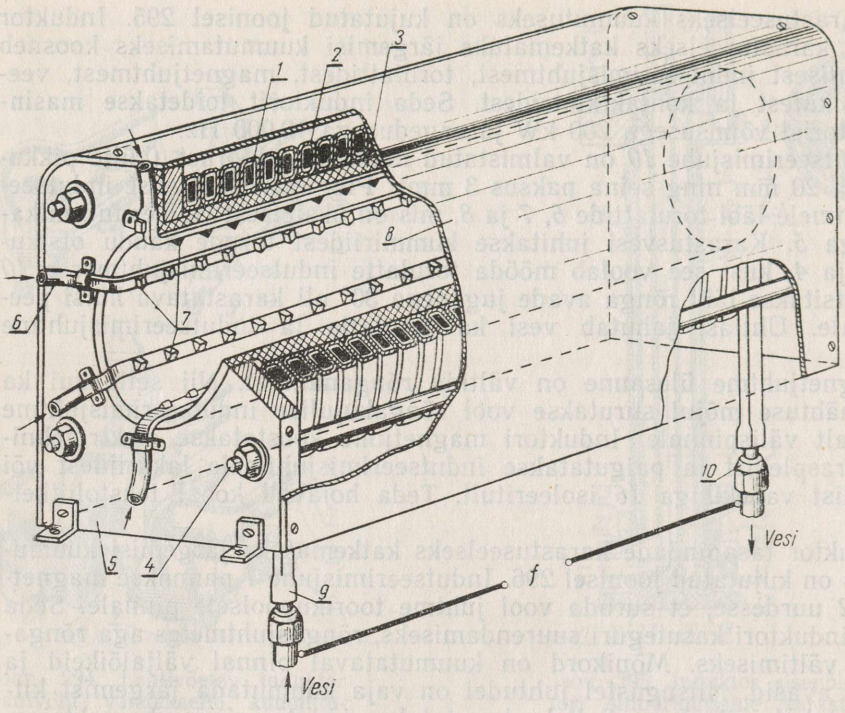
Induktor tasapindade karastuseelseks katkematuks järgemisi kuumutamiseks on kujutatud joonisel 296. Indutseerimisjuhe *1* pannakse magnetjuhtme *2* uurdesse, et suruda vool juhtme toorikupoolsele pinnale. Seda on vaja induktori kasuteguri suurendamiseks, rõngasjuhtmetes aga rõnganähtuse vältimiseks. Mõnikord on kuumutataval pinnal väljalõikeid ja puuritud avasid. Niisugustel juhtudel on vaja kuumutada järgemisi kitsaste ja laiade ribadena. Selleks koostatakse indutseerimisjuhe sektsioonidest. Induktori liikumisel kitsa pinna kohal lülitatakse sisse ja töötab ainult üks sektsioon, laia pinna kohal aga kaks või mitu. Joonisel 297 on kujutatud adraterade karastamise induktor, mille indutseerimisjuhtme keskkohast on tehtud väljavõte. Tera karastatud pind on joonisel viirutatud.

Induktorid keerukate pindade karastuseelseks kuumutuseks. Paljud karastatavate toorikute pinnad on keeruka kujuga, mis nõuab ka vastava kujuga induktorit. Joonisel 298 on kujutatud magnetjuhtmega induktor traktori C-80 hammasrataste hammaste karastamiseks. Induktorit toidetakse masingeneraatorist võimsusega 80 kW ja sagedusega 2500 Hz. Kolmnurkne indutseerimisjuhe *1* ja M-kujuline magnetjuhe *2* võimaldavad koondada kuumutuse kõige enam kuluvasse piirkonda *3*. Karastustrafo külge ühendatakse induktor klotside *4* abil.

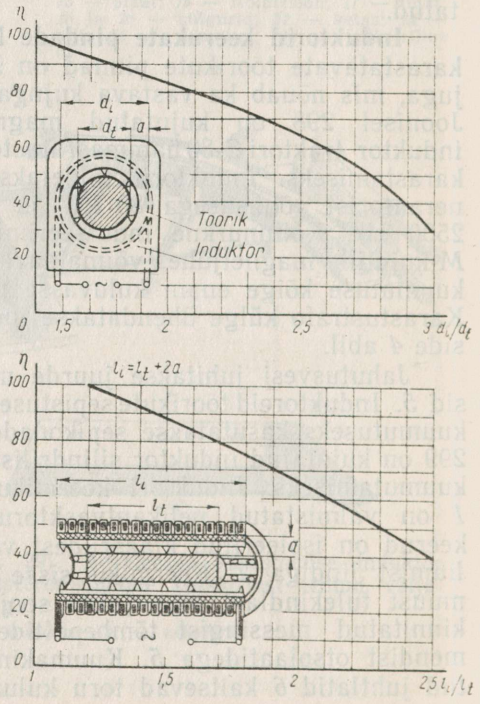


Joon. 298. Magnetjuhtmega induktor hammasrataste hammaste karastamiseks:
1 — indutseerimisjuhe; *2* — magnetjuhe; *3* — kuumutuspiirkond; *4* — kinnitusklots; *5* — jahutus vee toru

Jahutusvesi juhitakse juurde mööda torusid *5*. Induktoreid toorikute sepistuseelseks läbikuumutuseks kasutatakse sepikodades. Joonisel 299 on kujutatud induktor silindriliste toorikute kuumutamiseks. Induktori keermikuline mähis *1* on valmistatud nelikantvasktorust. Mähise keerud on isoleeritud klaasriidest või mikafooliumist lindiga *2*. Keermiku sisse on paigutatud šamotist või mõnest muust tulekindlast materjalist soojusisoleertoru *3*. Keermik ja toru on kinnitatud messingist tõmbepoltidega *4* ja tekstoliidist või asbesttsemendist otsplaatidega *5*. Kuumakindlast sulamist nagadega *7* varustatud juhtlatid *6* kaitsevad toru kulumise eest toorikute nihutamisel. Väl-



Joon. 299. Induktor silindriliste toorikute sepistus- ja stantsimiseelseks kuumutuseks:
1 — induktorimähis; *2* — isoleerlint; *3* — soojusisoleertoru; *4* — tõmbepolt; *5* — otsplaat; *6* — juhtlatt; *7* — nagad; *8* — kest; *9* ja *10* — väljaviigud



Joon. 300. Silindriliste toorikute sepistuseelse kuumutuse kasuteguri sõltuvus induktori ja tooriku läbimõõtude suhtest ning pikkuste suhtest

jastpoolt on induktor kaetud õhukese tekstoliitkestaga *8*. Induktori väljaviigud *9* ja *10* on tema ühendamiseks generaatoriga ja jahutusvee juhtimiseks induktori torusse. Induktsioonkuumutuse kasutegur sõltub oluliselt induktori siseläbimõõdu d_i ja tooriku läbimõõdu d_t suhtest ning induktori ja tooriku pikkuste l_i ja l_t suhtest. Mida suuremad on d_i/d_t ja l_i/l_t, seda väiksem on kasutegur (joon. 300). Kuni 50-mm läbimõõduga toorikutele on läbimõõtude suhe ligikaudu 2,0 ... 1,8. Induktori pikkus peab olema induktori siseläbimõõdu ja tooriku läbimõõdu vahe *a* kahekordse väärtuse võrra suurem tooriku pikkusest. Vastasel korral tooriku otsad sepistustemperatuurini ei kuumene.

Kondensaatorid. Masingeneraatoriga seadmete võimsustegur on maksimaalselt 0,5 ... 0,3, enamasti aga 0,2 ... 0,35. Väike võimsustegur ei võimalda generaatori täielikku koormamist ega toorikute kiiret kuumutamist ilma kompensatsiooniseadmeid (kondensaatoreid) kasutamata. Näiteks saab 100-kVA näivvõimsusega generaatorit $\cos\varphi = 0{,}2$ korral koormata ainult 20% ulatuses, mis moodustab 20 kW. Induktiivkoormus kompenseeritakse kondensaatoritega ja võimsustegur suurendatakse 1,0-ni. Sel juhul toimub kuumutamine generaatori täie võimsusega (100 kW) ja viis korda suurema kiirusega. Kõrgsageduskarastusseadmetes, mis toituvad masingeneraatoritest voolusagedusega 2000 ... 10 000 Hz, valitakse kondensaatorpatareide võimsuseks P_c 7- ... 8-kordne generaatori nimivõimsus. Antud koormusele P_a vastava kondensaatorite võimsuse võib arvutada valemiga

$$P_c = P_a \operatorname{tg}\varphi. \qquad (470)$$

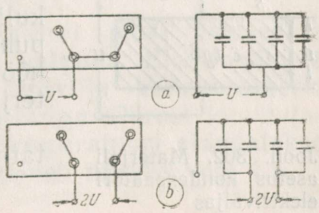
Kondensaatorite lülitus võimaldab sisselülitatud kondensaatorite arvu muuta, s. t. häälestada võnkeringi mahtuvuslikule võimsustegurile $\cos\varphi = 1 \ldots 0{,}9$.

Metallide kõrgsageduskuumutusseadmetes sagedusega 1 ... 10 kHz kasutatakse õlitäidisega ja sundvesijahutusega paberkondensaatoreid ЭМВ ja ЭМПВ. (Täht Э tähendab *электротермический* = elektrotermiline.) Kondensaatoreid ЭМВ ja ЭМПВ toodetakse võimsusega 80, 90, 125 ja 160 kvar ning neid kasutatakse seadmetes pingetele 375, 500, 750, 1000, 1500 ja 2000 V ning sagedustel 1000, 2500 ja 8000 Hz.

Kondensaatoreid ЭМВ kahe- või neljarühmaliste sektsioonidena kasutatakse põhiliselt elektrotermilise võnkeringi jääva (mittereguleeritava) mahtuvusena, kondensaatoreid ЭМПВ viierühmaliste sektsioonidena kasutatakse aga mahtuvuse reguleeritava osana.

Joonisel 301 on kujutatud kondensaatori ümberühendamise skeem. Ohutusnõuete kohaselt tuleb kondensaatorite väljaviigud pärast väljalülitamist lühistada ja maandada. Kondensaatorite väljalülitamine pinge all on keelatud.

Kõrgsagedusseadmete trafod. Trafosid kasutatakse kõrgsagedusseadmetes generaatori ja induktori pinge omavaheliseks sobitamiseks. Masin-



Joon. 301. Kondensaatori ümberühendamise skeem:
a — kõik sektsioonid on ühendatud rööbiti; *b* — sektsioonid on ühendatud kahte jadalülituses rühma

generaatoritega seadmetes sagedustel 2000 ... 15 000 Hz kasutatakse terasest magnetsüdamikuga trafosid.

Trafo koosneb kolmest põhiosast: primaar- ja sekundaarmähisest ning magnetringi teraskehast.

Keermikuline primaarmähis valmistatakse nelikantvasktorust, mida mööda voolab jahutusvesi. Toru isoleeritakse lakkriidega või isoleerlakis immutatud vitselpaelaga. Primaarmähisel on 8 ... 30 keerdu.

Sekundaarmähis koosneb enamasti ühest (karastusseadmetes) vesijahutusega keerust ja isoleeritakse primaarmähisest mikaniitlehega.

Magnetringi teraskeha valmistatakse plekipakkidena kuni 4%-lise ränisisaldusega trafoplekist (paksus 0,35 mm). Plekid isoleeritakse üksteisest lakiga.

Paremaks jahutamiseks pannakse teraskeha plekipakkide vahele terasplekkidest natuke suuremad vaskplekid. Jahutusvee läbijuhtimiseks keevitatakse vaskplekkide välisserva külge ristkülikukujulise ristlõikega vasktorud. Trafode vesijahutuse korral on terasekulu väiksem.

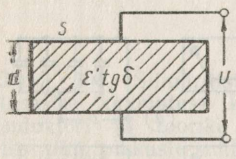
§ 7. Põllumajandussaaduste dielektriline kuumutus

Tänapäeval rakendatakse dielektrilist kuumutust teravilja ja metsamaterjalide kuivatamiseks, teravilja desinfitseerimiseks ja konditsioneerimiseks, saaduste konserveerimiseks, kui on vaja kuumutada materjali või saadust, millel on dielektriku omadused.

Dielektrilise kõrgsageduskuumutuse iseärasuseks on soojusenergia eraldumine kuumutatavas materjalis eneses. See soodustab saaduse märksa ühtlasemat kuumenemist ja tagab parema kvaliteedi. Kõrgsageduskuumutusel materjali soojusjuhtivus protsessi kiirusele mõju ei avalda, mistõttu kuumutus võib toimuda väga kiiresti, ilma et materjali välispind üle kuumeneks. Kõrgsageduskuivatusel on materjali siseosakeste niiskus suurem ja temperatuur kõrgem kui tema pinnal. See võimaldab kuivatamist kiirendada. Selle menetluse puhul lakkavad kuumutamine ja kõrgsagedusenergia tarbimine samaaegselt kondensaatori pingest vabastamisega. Materjali temperatuur on ümbritseva keskkonna olukorrast sõltumata hõlpsasti reguleeritav.

Elektrienergia rakendamise tõttu saab protsessi automaatselt juhtida ja tagada mistahes eelnevalt seatud tingimused, kui ühitada kaks kuumutusviisi: välise soojusallika mõjul toimuva pindkuumutuse (ümbritseva keskkonna õhu temperatuuri, niiskuse, liikumiskiiruse või rõhu sundreguleerimisega) ning sisekuumutuse. Sellega parenevad kuivatuse või kuumutuse tehnilis-majanduslikud andmed, sest on võimalik rakendada eesrindlikumat tehnoloogiat.

Mittejuhtiv materjal asetatakse kuumutamiseks kondensaatori elektrivälja (joon. 302) või kiiritatakse teda lainejuhtme ees elektromagnetlainega. Mõlemal juhul tekivad materjalis välise elektromagnetvälja energia arvel nihke- ja juhtivusvool. Nihkevool tekib polarisatsioonil esineva molekulide võnkumise ja pulseerimise tagajärjel, mille puhul võnkumisenergia muundub molekulaarse hõõrdumise tõttu soojuseks. Juhtivusvool tekitab materjalis soojust Joule'i-Lenzi seaduse järgi.



Joon. 302. Materjali asetus kondensaatori elektriväljas

Kondensaatori mahuühikus eralduv võimsus arvutatakse valemiga

$$p = 0{,}55\varepsilon \operatorname{tg}\delta f E^2 \ \mathrm{W/m^3}, \qquad (471)$$

kus ε on aine suhteline dielektriline läbitavus;
δ — kaonurk, mis iseloomustab mittejuhi polarisatsiooni hilinemist elektriväljatugevuse suhtes;
f — toiteallika voolusagedus Hz;
E — elektriväljatugevus V/m.

Antav soojushulk sõltub aga lubatud soojendamiskiirusest $\Delta\vartheta/\Delta t$ K/s ja lubatud kuivatamiskiirusest $\Delta m/\Delta t$ kg/(m^3 · s).

Materjali kuumutamiseks vajalik erivõimsus arvutatakse avaldisega

$$p_{kuum} = \frac{\gamma c}{\eta_\theta} \cdot \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} \text{ W/m}^3 \qquad (472)$$

kus γ on materjali tihedus kg/m^3;
c — materjali erisoojus J/(kg · K);
$\Delta\vartheta$ — temperatuuri tõus ajaühikus K;
Δt — ajavahemik s;
η_θ — kuumutuse kasutegur, mis arvestab soojuskadu ümbritsevasse keskkonda.

Materjalist niiskuse väljaaurutamiseks vajalik erivõimsus arvutatakse avaldisega

$$p_{kuiv} = \frac{r}{\eta_\theta} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \text{ W/m}^3, \qquad (473)$$

kus r on aurumissoojus antud temperatuuril, arvestamata soojuskulu materjali ja niiskuse vahelise sideme ületamiseks J/kg;
Δm — ajaühikus materjali mahuühikust eraldatava niiskuse mass kg/m^3.

Vastavalt standardile ГОСТ-7768 on elektriväljas kuumutamiseks rakendatavad sagedused jaotatud viide sagedusalasse, mis on esitatud tabelis 37.

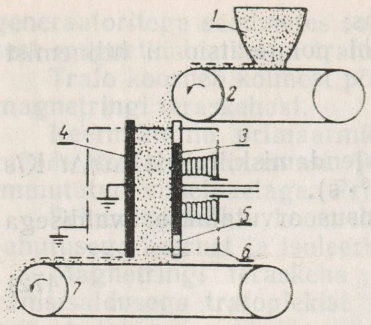
Tabel 37

Sagedusala	Sagedus MHz	Lainepikkus m
Kesklained	0,3 ... 3	1 000 ... 100
Lühilained	3 ... 30	100 ... 10
Meeterlained	30 ... 300	10 ... 1
Detsimeeterlained	300 ... 3 000	1 ... 0,1
Sentimeeterlained	3 000 ... 30 000	0,1 ... 0,01

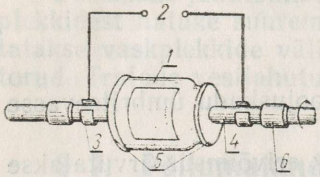
Teravilja kuumutamiseks tornides on kõige otstarbekamad lühi- ja meeterlained. Huvi pakuvad detsi- ja sentimeeterlained, mille kiirguse lainepikkus on teravilja ja putukate mõõtmetega ühes suurusjärgus.

Kõrgsageduselektrivälja energiat rakendatakse teravilja töötlemisel kuivatamiseks ja desinfitseerimiseks.

Kuivatamisel lastakse teravili töökondensaatori püsti asetsevate plaatelektroodide *3* ja *4* (joon. 303) vahel alla valguda. Elektroodidele rakendatakse kõrgsagedusgeneraatori pinge. Teravilja kondensaatoris viibimise kestust reguleeritakse väljamismehhanismiga. Pärast kuumutamist satub teravili jahutuskambrisse, kus tema temperatuuri alandatakse külma õhuga. Teravilja õhuga läbipuhumisel väheneb niiskus veel 1,5 ... ... 2%.



Joon. 303. Teravilja dielektrilise kuumutuse skeem: *1* — punker; *2* — söötemehhanism; *3* — kõrgepingeelektrood; *4* — maandatud elektrood; *5* — isolatsioon; *6* — varje; *7* — väljamismehhanism



Joon. 304. Puuviljadega täidetud klaaspurgi asetus steriliseerimisel: *1* — purk; *2* — seadme klemmid; *3* — voolu juurdeviik; *4* — elektroodi telg; *5* — elektroodid; *6* — isolatsioon

Tasuvam on aga soojuslik kõrgsageduskuivatus. Kõrgsageduskuivatuse soojusmenetlusel kuumutatakse teravilja ja niiskus suunatakse tema seest pinnale kõrgsagedusvooluga tekitatud soojuse arvel, pinnalt aga eemaldatakse niiskus töökambris temperatuurini 40 ... 45° C soojendatud õhu läbipuhumisega.

Soojusmenetlus kiirendab tera-, köögi- ja puuvilja kõrgsageduskuivatust 2 ... 8 korda ning säilitab saadustes rohkem vitamiine. Energiakulu selle menetluse puhul on väiksem. Tera-, köögi- ja puuviljast, siidiliblika tuppedest jt. niiskuse väljaaurutamiseks kulub energiat keskmiselt 5,4 ... 7,2 MJ (1,5 ... 2 kWh) kilogrammi niiskuse kohta.

Köögi- ja puuvilja kuivatamiseks osutub majanduslikult õigustatuks selline menetlus, mille puhul hõlpsasti väljaaurutatav niiskus (25 ... ... 30% niiskusest) eemaldatakse tavalistes soojuskuivatites, edasine järelkuivatus kuni vajaliku niiskuseni (10 ... 11%) toimub aga kõrgsageduselektriväljas.

Putukate hävitamisel kõrgsagedusväljas kasutatakse ära asjaolu, et kahjurite (näit. kärsaklaste) niiskus on suurem kui teraviljal. Elektriväljas sagedusega 1 ... 2 MHz ja väljatugevusega 150 kV/m soojeneb teravili temperatuurini 54 ... 55° C ja säilitab külviomadused, kärsaklane aga, kellel on suurem kaotegur $k = \varepsilon \operatorname{tg} \delta$ kui teraviljal, kuumeneb surmava temperatuurini ja hukkub 10 s kuni 2 min jooksul. Kõrgsagedusdesinfektsiooni rakendamiseks on soovitatav, et teravilja dielektrikuskao erivõimsus niiskusel 13 ... 19% oleks umbes 0,25 MW/m³.

Konservpuuvilja steriliseerimisel asetatakse suletud klaaspurk *1* kõrgsageduskondensaatori plaatide vahele (joon. 304). Generaatorist võimsusega 50 kW ja sagedusega 25 ... 35 MHz antakse pinge seadme klemmidele *2* ning sealt voolu juurdeviikude *3* ja elektroodide telgede *4* kaudu elektroodidele *5*. Viimaseid eraldab tööpingist isolatsioon *6*. Lubatud elektriväljatugevus on piirides 25 ... 30 kV/m.

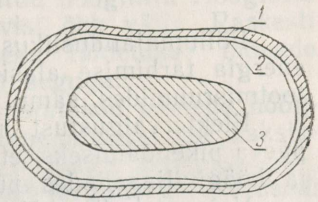
Elektroodidele pinge rakendamisel kuumeneb puuvili purgis kiirusega 0,8 ... 1 K/s steriliseerimistemperatuurini (85 ... 90° C) 40 ... 110 sekundiga. Erirelee, mis kaane läbipainde järgi jälgib rõhku, selle kaudu aga temperatuuri purgis, lülitab kondensaatori nõutud temperatuuri saa-

vutamisel generaatorist lahti. Relee rakendumistäpsus on 2 ... 3 sekundit. Kuumutuse erivõimsus kõigub piirides 3 ... 7 MW/m³. Toote ja purgi enese ühtlaseks kuumutamiseks on vaja viimast pöörata ümber rõhttelje pöörlemissagedusega 0,5 ... 0,67 p/s (30 ... 40 p/min). Ühe 0,5-kg purgi steriliseerimiseks kulub ligikaudu 0,36 MJ (0,1 kWh) elektrienergiat.

Aur- ja kõrgsagedussteriliseerimise maksumus on peaaegu ühesugune, viimasel juhul on aga konservidel parem kvaliteet ja ka töötlemiskestus on lühem: paremini säilivad toote maitse, lõhn ja värvus, C-vitamiinist säilib 90 ... 95%, aursteriliseerimisel aga ainult 80%.

Viimasel ajal korraldatakse üha enam katseid siidiliblika tuppede kõrgsagedusvoolu abil surmamise ja kuivatamise alal. Seda on vaja nende pikemaajaliseks säilitamiseks pärast koristamist ja enne töötlemist. Kui nukk jääb elama, närib ta niidi läbi, kui aga tupe niiskus jääb suureks, kaotab niit oma väärtuse.

Joonisel 305 on kujutatud siidiliblika normaalselt arenenud tupe ehitus. 0,6 mm paksune väliskest *1* kujutab enesest suhteliselt tihedat siidikiudude kihti, mis on kokku liimunud siidikiudu katva ainega — seritsiiniga. Ligikaudu 0,1 mm paksune sisekiht *2* koosneb samuti seritsiiniga kokkuliimunud niitidest. Nad on eraldatud üksteisest 0,5 ... 3,5 mm paksuse õhukihiga. Sisemuses asetseb siidiliblika nukk *3*, mis sisaldab 80 ... 95% niiskust. Niiskus tuleb eemaldada läbi kestade. Kestad ise sisaldavad ainult 20 ... 25% tupes sisalduvast niiskusest.



Joon. 305. Siidiliblika tupe ehitus:
1 ja *2* — välis- ja sisekest, *3* — siidiliblika nukk

Soojustehnika mõttes kujutavad kestad endast väikese soojusjuhtivusega soojusisolatsiooni. Soojusisoleerkihi termiline takistus on 0,91 m² · K/W. Tupe kestad on poorsed.

Elektrofüüsikalistelt omadustelt on nukk pooljuht, naturaalsiidist koosnevad kestad aga mittejuhid. Vahelduvelektriväljas kuumeneb nukk enam kui kestad. Eriti on see märgatav sagedustel 12 ... 27 MHz, mil nuku kaonurga tangens on 0,25 ... 0,72, kestadel aga 0,17 ... 0,27; suurimaks erinevuseks on 0,56, mis esineb sagedusel 20 MHz. Niisiis, tg δ järgi eraldub nuku mahuühikus kolm korda enam energiat kui kestade mahuühikus. Järelikult kuumeneb nukk kõrgema temperatuurini, hukkub kiiresti ja kuivab juba suhteliselt madalal kestade temperatuuril. See soodustab siidniidi paremat säilivust. Kuumutamisel elektriväljas sagedusega 12 ... 15 MHz surevad nukud 3 ... 4 minuti jooksul ja kuumenevad 6 ... 8 minutiga temperatuurini 70 ... 80° C. Kestad jäävad neis tingimustes külmaks. Konvektsioonkuumutusel aga kuumutakse nukku 14 ... 18 tundi läbi kestade tungiva soojusvooga, mistõttu viimane saavutab kõrgema temperatuuri ja kuivab rohkem kui nukk ise. Selle tagajärjel on niidi saagis 20% väiksem kui elavalt nukult niidi võtmisel.

Kõrgsageduselektriväljas kuumutamist võib rakendada põllumajanduses teravilja, heintaimede seemnete, puu- ja köögiviljade, heina, puuvilla, puidu ja siidiliblika tuppede kuivatamiseks ning teravilja ja mitmesuguste põllumajandussaaduste desinsekteerimiseks, siidiliblika tuppede surmamiseks jne.

XIV PEATÜKK

ELEKTERVALGUSTUS

§ 1. Põhisuurused ja nende mõõtühikud

Põllumajanduslikus tootmises on elektervalgustus üks põhilisi elektrienergia tarbimise alasid elamutes, ühiskondlikes hoonetes, kultuuri- ja tootmisruumides, samuti ka põllul öösiti toimuvatel liikuvtöödel.

Elektervalgustust rakendatakse köögivilja kasvatamisel, lindlates päeva pikendamiseks, et suurendada lindude kaaluiivet ja munevust, puu- ja köögiviljaaedades putukate peibutamiseks.

Valgustehnika põhisuurused on *valgusvoog, valgustugevus, valgustustihedus* ehk *valgustatus.*

Kõik valgusallikad toodavad kiirgusenergiat, mis kujutab endast mitmesuguse lainepikkusega elektromagnetvõnkumise ehk -lainete energia üht eriliiki. Seda energiat hinnatakse tema poolt tekitatud valgustaju järgi.

Valgusvoog on kiirgusenergia see osa, mida tajutakse nägemismeelega. Valgusvoog F on võrdne ajaühikus läbi pindala S kanduva energiahulgaga W:

$$F = k\frac{W}{t}, \tag{474}$$

kus k on võrdetegur;

t — kestus.

Valgusvoo ühikuks on luumen (lm), s. o. valgusvoog, mida kiirgab punktikujuline valgusallikas valgustugevusega üks kandela ruuminurka üks steradiaan.

Valgustugevus — see on valgusvoo ja seda piirava ruuminurga suhe.

Valgustugevuse ühikuks on kandela (cd) — selline valgustugevus, mille puhul täiusliku kiirguri heledus plaatina tardumistemperatuuril on 60 cd/cm² (ГОСТ 9867-61).

Pinnaühikule langevat valgusvoogu — valgusvoo pindtihedust — nimetatakse *valgustustiheduseks* ehk *valgustatuseks.* Valgustatuse ühikuks on luks (lx).

Valgusvoo ühtlase jaotuse korral

$$E = \frac{F}{S}, \tag{475}$$

kus E on valgustatus lx;

F — valgusvoog lm;
S — valgustatava pinna pindala m^2.
Üks luks on valgustatus, mille tekitab valgusvoog üks luumen valgustataval pindalal üks ruutmeeter.

§ 2. Valgustusseadmete üksikosad

Hõõglambid. Kunstlikul valgustusel kasutatakse valgusallikatena hõõglampe, mis põhinevad elektrivoolu soojus- ja valgusnähtuste ärakasutamisel. Süsivardaga hõõglambi leiutas vene elektrotehnik A. N. Ladõgin. See lamp kujutas endast süsivardaga klaaskolbi, millest juhiti läbi elektrivoolu. Varras kuumenes sellise temperatuurini, mille puhul ta hakkas kiirgama valgust.

Nüüdisaegne lamp on välja kujunenud pärast mitmesuguseid konstruktiivseid muudatusi. Süsivarda asemel hakati kasutama raskesti sulavast materjalist (volframist, tantaalist) valmistatud hõõgniiti. Hõõgniidi oksüdeerumise vältimiseks pumbatakse klaaskolvist õhk välja. Raskesti sulavate materjalide aurustumise vähendamiseks täidetakse mõnede lampide kolvid inertgaaside (argooni, krüptooni) seguga.

Et parendada valgustehnilisi omadusi, valmistatakse mõnede hõõglampide hõõgniit kaksikkeermikuna. Selliseid lampe nimetatakse kaksikkeermik- ehk bispiraallampideks.

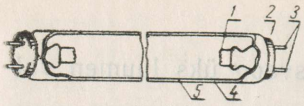
Valgusallikaid (hõõglampe) iseloomustavad järgmised suurused: nimipinge, millega peab lampi toitma; võimsus; lambist kiirguv valgusvoog; valgusviljakus, mis iseloomustab valgusallika ökonoomsust; keskmine iga.

Hõõglampide põhilised iseloomustussuurused on esitatud tabelis 38.

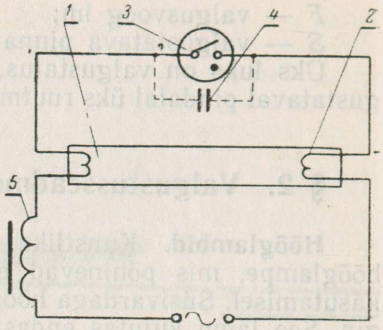
Hõõglampide iga on 1000 h.

Tabel 38

Lambi tüüp pingele V		Võimsus W	Valgusvoog lm pingel V		Sokli tüüp
127	220		110...127	220	
НВ-40	—	10	70	—	
НВ-10	НВ-23	15	125	101	
НВ-11	НВ-24	25	228	198	
НВ-12	НВ-25	40	380	340	
НГ-21	НВ-27	60	600	540	
НГ-22	НВ-47	75	915	698	Р-27
НГ-23	НГ-48	100	1320	1050	
НГ-24	НГ-49	150	2280	1845	
НГ-25	НГ-50	200	3200	2660	
НГ-26	НГ-51	300	5160	4350	
НГ-27	НГ-52	400	7000	6000	
НГ-28	НГ-53	500	9100	8000	
НГ-29	НГ-54	750	14250	12980	Р-40
НГ-30	НГ-55	1000	19500	18000	
НБГ	—	55	650	—	
НБ-8	—	71	900	—	Р-27
НБ-9	—	96	1300	—	
—	НБ-6	82	—	900	
—	НБ-5	109	—	1300	
ЗН-5	ЗН-7	300	4300	3600	Р-40
ЗН-6	ЗН-8	500	7500	6400	



Joon. 306. Luminestsentslambi üldvaade:
1 — kaksikkeermikuline volframelektrood — katood; *2* — sokkel; *3* — kontakttihvtid; *4* — klaastoru; *5* — luminofoor



Joon. 307. Luminestsentslambi skeem:
1 — lamp; *2* — elektrood; *3* — starter; *4* — kondensaator; *5* — paispool

Luminestsentslambid. Meil toodetakse luminestsentslampe, milles rakendatakse nähtust, mille puhul metalliaurud ja gaasid elektrivooluga kuumutamisel helendavad.

Luminestsentslampidel on silindriline klaastoru, mille sisepind kaetakse helendamisvõimelise (fluorestseeriva) ainega. Seda ainet nimetatakse luminofooriks. Toru täidetakse argooniga ja lisatakse mõni tilk elavhõbedat. Toru otstesse joodetakse elektroodid, mis kujutavad endast volframkeermikku. Elektroodidele rakendatakse toiteallikaist pinge.

Lambi helendamiseks on vaja tekitada tema elektroodide vahel gaaslahendus. Selleks tuleb elektroode eelnevalt kuumutada. Elektroodide kuumutamiseks ja gaaslahenduse tekitamiseks on eriseadis — käiviti ehk starter, mis lühikeseks ajaks lülitatakse elektroodide vooluringi jadamisi. Lambiga on ühendatud jadamisi ka paispool. Seda on vaja lampi läbiva voolu piiramiseks ja püsiva gaaslahenduse säilitamiseks pärast lambi sisselülitamist.

Luminestsentslambi üldvaade on kujutatud joonisel 306. Meil toodetakse järgmisi luminestsentslampide tüüpe: päevavalguslampe ЛД, külma valge valguse lampe ЛХБ, valge valguse lampe ЛБ ja sooja valge valguse lampe ЛТБ. Joonisel 307 on esitatud luminestsentslambi lülitusskeem. Luminestsentslambid vajavad väiksemat võimsust kui hõõglambid. Nende kiirguse värvus võib olla mitmesugune, mistõttu luminestsentslampidega tekitatud kunstlik valgustus võib asendada hajutatud päevavalgust. Kuid iga luminestsentslambi jaoks on vaja süüteseadist ja lisatakistit — paispooli. Luminestsentslampide põhilised iseloomustusandmed on esitatud tabelis 39.

Tabel 39

Võimsus W	8	12	15	15*	20	21*	30	30*	40	80	Märkus
Toru läbimõõt mm	15,5	25	25	25	38	25	25	25	38	38	Tähekestega on märgitud sektsioonringlambid
Toru pikkus mm	319	320	451	297	604	435	909	513	1213	1500	
				384		601		825			
Valgusvoog lm:											
ЛБ	272	325	560	—	800	—	1400	—	1920	3680	
ЛТБ	—	—	500	450	700	840	1250	1220	1780	—	
ЛД ja ЛХБ	—	—	490	—	700	—	1160	—	1700	3280	

Valgustid. Soodsaks valgustamiseks on vaja oskuslikult valida valgusti, s. o. valgustusarmatuur koos lambiga. Valgustusarmatuur on vajalik lambi valgusvoo otstarbekaks jaotamiseks. Valgusti tüübi valimisel tuleb peale keskkonnatingimuste arvestada ruumi iseloomu, valgusjaotust ja valgusti hinda.

Tootmisruumides on tavaliselt soovitatav kasutada otsevalgustuse valgusteid, mille korral vähemalt 90% kogu valgusvoost suunatakse alumisse poolkerasse. Juhul kui on vaja varje pehmendada, samuti ka seinte ja lae heleda värvuse (s. o. hea peegelduse) korral on otstarbekam valida otsevalgustuse valgustid, mis suunavad 55...90% kogu valgusvoost alumisse poolkerasse.

Elukondlikes ruumides, kontorites ja muudes taolistes ruumides on soovitatav hajuvalgustus või otsevalgustus, mille korral alumisse ja ülemisse poolkerasse levib peaaegu ühevõrra valgusvoogu.

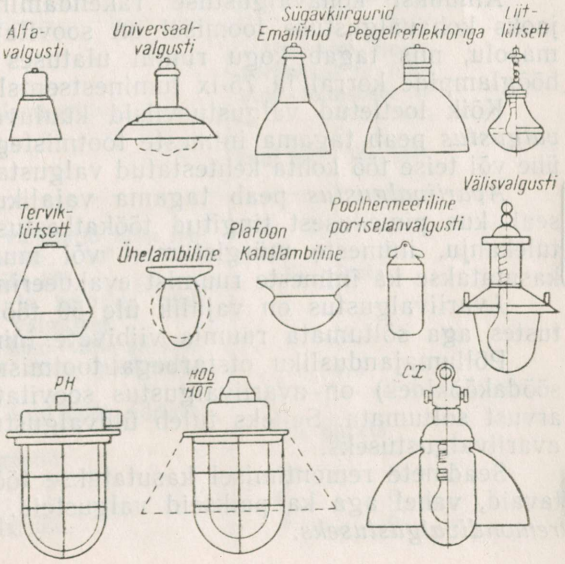
Kooli- ja haiglaruumidele sobib peegeldusvalgustus, mille puhul ülemisse poolkerasse kiirgub 55...90% kogu valgusvoost.

Valgustid peavad olema ökonoomsed (suure kasuteguriga) ja sellised, et välistegurid nende kasutegurit võimalikult vähe halvendaksid. Nad peavad olema kaitstud väliskeskkonna mõjude — valgustisse niiskuse ja tolmu tungimise — ja teiste kahjulike nähtuste toime eest. Nad peavad olema teenindamisel ohutud ega tohi olla tuleohtlikud.

Väliskeskkonna eest kaitsmise viisi järgi eristatakse järgmisi valgusti liike: lahtised — lamp ja lambipesa ei ole väliskeskkonnast eraldatud; kinnised — lamp ja lambipesa on väliskeskkonnast eraldatud tihenditeta kattega; niiskustihedad — kerel ja lambipesal on niiskuse eest kaitsev kate ja kaitse; tolmutihedad — neil on valgustit tolmu eest kaitsvad tihendid; plahvatuse vastu kaitstud ja plahvatustpidavad, mille kest talub lambis tekkiva plahvatuse rõhku. On olemas ka plahvatuse mõttes suurema usaldatavusega valgustid, milles ei teki ruumis plahvatust esile kutsuda võivat elektrikaart või sädelust.

Joonisel 308 on esitatud põllumajanduses kõige rohkem kasutatavate valgustite visandid.

«*Alfavalgusti*» — metallilõikepinkidel ja põllumajandusmasinatel



Joon. 308. Valgustite visandid

kohavalgustuseks ning avariivalgustuseks. Toodetakse kuni 60-W lampidele.

«Universaalvalgusti» — tootmisruumide, mehaanikatöökodade ja remonditehaste üldvalgustuseks. Seda valgustit toodetakse kuni 200-W ja 500-W lampidele.

Emailitud *«sügavkiirgus»* — kõrgete (üle 5 m) tootmisruumide valgustamiseks. Toodetakse 200-...500-W ja 100-W lampidele.

Valgusti CX-60 — niiskete ja keemiliselt aktiivse keskkonnaga ruumide valgustamiseks.

Tervik- ja liitlütsett — kontoriruumide, kuivade laoruumide, koolide auditooriumide ja koridoride ning haiglate valgustamiseks.

Ühe- ja kahelambiline *plafoon* — koridoride ja elukondlike ruumide valgustamiseks. Toodetakse kuni 60-W lampidele.

Poolhermeetiline portselanvalgusti — loomafarmide, söödaköökide, pumbamajade ja niiskete või eriti niiskete ruumide valgustamiseks. Toodetakse kuni 60 W lampidele.

Välisvalgusti — välisvalgustuseks ning niiskete ja eriti niiskete ruumide valgustamiseks.

Kaevandusvalgusti tüüp PH — tolmuste ja tuleohtlike ruumide valgustamiseks. Toodetakse 60-, 100- ja 200-W lampidele.

Suurema usaldatavusega valgusti tüüp НОБ, НОГ — plahvatusohtlike ruumide valgustamiseks.

Helgiheitjatega valgustatakse katmata maa-alasid, viljapeksu- ja teraviljapuhastuspunkte ning trafoalajaamu.

§ 3. Valgustuse liigid

Eristatakse järgmisi kunstliku valgustuse viise.

Üldvalgustus on ruumi või selle osa valgustamiseks töökohtadel ja teistel pindadel.

Kohavalgustus — vahetult tööpinna valgustamiseks. Valgusti asetseb tööpinna vahetus läheduses. Kohavalgusti võib olla paikne või kantav.

Kombineeritud valgustus, mille korral tööpindu valgustatakse nii üld- kui ka kohavalgustitega.

Ainuüksi kohavalgustuse rakendamine on keelatud. Tööpindade jaoks kohavalgustuse loomisel on soovitatav sellise üldvalgustuse olemasolu, mis tagab kogu ruumi ulatuses vähemalt 30-lx valgustatuse hõõglampide korral ja 75-lx luminestsentslampide korral.

Kõik loetletud valgustusviisid kuuluvad töövalgustuse hulka. *Töövalgustus* peab tagama inimeste tootmistegevuseks vajalikud tingimused ühe või teise töö kohta kehtestatud valgustatusnormide piires.

Avariivalgustus peab tagama vajaliku valgustuse töö jätkamiseks seal, kus pimedusest tingitud töökatkestus võib põhjustada plahvatust, tulekahju, inimeste mürgistumist või muid õnnetusi. Avariivalgustust kasutatakse ka inimeste ruumist evakueerimiseks.

Avariivalgustus on vajalik üle 50 töötajaga tööruumides, lasteasutustes aga sõltumata ruumis viibivate inimeste arvust.

Põllumajandusliku otstarbega tootmisruumides (lautades, lindlates, söödaköökides) on avariivalgustus soovitatav ruumis viibivate inimeste arvust sõltumata. Selleks tuleb üldvalgustuse valgustitest osa eraldada avariivalgustuseks.

Seadmete remontimisel kasutatakse töökohtade valgustamiseks kantavaid, vahel aga ka paikseid valgusteid. Seda valgustust nimetatakse *remondivalgustuseks.*

Töötamiseks vajalike tingimuste loomiseks on ehitusnormide ja eeskirjadega (СНиП) kehtestatud «Tootmis-, elukondlike ja ühiskondlike hoonete vähima valgustatuse normid» vastavalt töö või tootmisprotsessi iseloomule, esemete värvusele jm.

§ 4. Valgustuse arvutamine

Vajalik valgustite arv ja nende võimsus vajalike töötingimuste tagamiseks leitakse arvutuse teel. Valgustuse arvutamisel on lähteandmeteks ruumi plaan koos tehnoloogiaseadmete paigutusega, ruumi kõrgus, tehtavate tööde iseloom, ruumi liik ja tehnoloogia nõuded kunstlikule valgustusele.

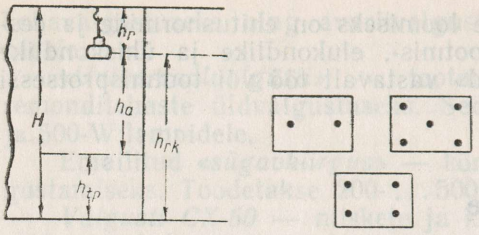
Valgustite tüübi valikul on soovitatav juhinduda üksikute valgustitüüpide iseloomustusest. Valgustite valiku üldjuhendid (sõltuvalt ümbritseva keskkonna tingimustest) on esitatud tabelis 40.

Tabel 40

Ruumi iseloomustus	Soovitatav valgusti tüüp	Valgustite ehituse iseärasused
Kuivad köetavad ja mitteköetavad ruumid	Universaalvalgusti Sügavkiirgur Lütsett	Tavalise ehitusviisiga
Niisked ruumid	Poolhermeetiline portselanvalgusti Vee- ja tolmutihe valgusti CX-60	Portselanpesad juhtmete lahussisestusega
Tuleohtlikud ruumid. Tolmused ruumid	Suurema usaldatavusega valgusti Tavaline kaevandusvalgusti Vee- ja tolmutihe valgusti CX-60	Kinnised või tolmutihedad
Plahvatusohtlikud ruumid	Plahvatusohutud valgustid ja valgustite paigutamine väljapoole ruumi	Hermeetilised ja tihendatud

Tabel 41

Valgusti iseloomustus	Väikseim ripe põrandast m lampide võimsusel W	
	kuni 200	üle 200
Emailitud reflektoriga valgustid ilma hajutita, kaitsenurgaga 10...30°	3	4
Sama, kaitsenurgaga üle 30°	Ei piirata	
Emailitud reflektoriga ja hajutiga ning reflektorita hajutiga valgustid:		
a) läbilasketeguriga kuni 80% piirkonnas 0...90° või 55% piirkonnas 60...90°	3	4
b) läbilasketeguriga kuni 55% piirkonnas 0...90°	Ei piirata	
Peegelreflektoriga valgustid:		
a) sügavkiirgur	2,5	3
b) laikiirgur	4	6
Lahtised mattkolviga lambid	4	6



Joon. 309. Valgusti ripet määravad mõõtmed:
H — ruumi kõrgus; h_r — ripe laest; h_a — arvutuslik kõrgus; h_{rk} — ripe põrandast h_{tp} — tööpinna kõrgus

Joon. 310. Valgustite võimalik paigutus

Enne üldvalgustuseks ettenähtud valgustite kohalepaigutamist on vaja kindlaks määrata valgustite ripe ja vahekaugus.

Valgustite ripe ei tohi olla väiksem, kui ehitusnormidega ette on nähtud, ja peab rahuldama valgustite pimestava toime piiramise tingimusi. Tabelis 41 on esitatud hõõglampidega valgustite väikseim ripe ruumides.

Vahekaugus lae ja valgusti vahel (joon. 309) valitakse sõltuvalt ruumi kõrgusest 0,3 ... 1,5 m. Tavaliselt paigutatakse valgustid ruudu või ristküliku tippudesse (joon. 310), vahel aga ka malekorras. Loomapidamisruumides paigutatakse valgustid enamasti piki vahekäike.

Pärast valgusti tüübi, rippe ja paigutuse valimist leitakse valgustite võimsus, s. t. hõõglambi valgusvoog.

Lambi valgusvoog arvutatakse valgusvoo kasutamisteguri meetodil, punktimeetodil või erivõimsuse meetodil.

Valgustuse arvutamine valgusvoo kasutamisteguri meetodil on rakendatav üldvalgustuse arvutamiseks ja rõhtpinnal nõutud valgustatuse tekitamiseks vajaliku lampide valgusvoo leidmiseks. Seintelt ja laelt peegeldunud valguse toimet hinnatakse valgusvoo kasutamisteguriga η, mis väljendab arvutuslikule pindalale S langeva valgusvoo F ja valgusallikate kogu valgusvoo F_lN suhet:

$$\eta = \frac{F}{F_lN}. \tag{476}$$

Ühe lambi valgusvoog leitakse valemiga

$$F_l = \frac{ESk}{N\eta} \text{ lm}, \tag{477}$$

kus E on keskmine valgustatus lx;
F_l — lambi valgusvoog lm;
S — ruumi pindala m^2;
N — valgustite arv;
η — kasutamistegur;
k — varutegur.

Varutegur arvestab valgusallikate ja valgustite vananemist, tolmumist, seinte ja lae saastumist.

Normides soovitatakse järgmisi varuteguri väärtusi:

ruumid, kus tekib vähe tolmu, suitsu ja tahma	1,3
ruumid, kus tootmise tõttu tekib tunduvalt tolmu, suitsu ja tahma	1,5
välisvalgustus	1,3

Valgusvoo väärtuse järgi valitakse kataloogist või käsiraamatust hõõglamp. Arvutuslik valgusvoog võib standardsest erineda 10 ... 15%. Kui erinevus on suurem, soovitatakse lambid teisiti paigutada. Siis on lampide arv teistsugune ja arvutus tuleb teha uuesti.

Kui lamp on valitud, tuleb tegelik keskmine valgustatus rõhtasendis arvutada valemiga

$$E = \frac{F_l N_\eta}{Sk} \text{ lx.} \qquad (478)$$

Seda meetodit rakendatakse kontoriruumide, lautade, lindlate ja sigalate üldvalgustuse arvutamisel.

Valgustust saab arvutada punktimeetodil mistahes paigutusega pindade ja valgustite puhul. See arvutusviis on hädavajalik lokaliseeritud (piiratud paiga) ning koha- ja välisvalgustuse, samuti kaldpindade valgustuse arvutamisel. Ka on see meetod kohane ühtlase valgustuse arvutustulemuste kontrollimiseks. Kogu valgustatuse arvutamiseks punktimeetodil tuleb valida valgustataval pinnal arvutuspunkt ja leida valemiga (479) antud punkti läbival rõhttasandil ühe valgustiga tekitatav valgustatus

$$E_r = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{H_{rk}^2}, \qquad (479)$$

kus E_r on valgustatus punkti K (joon. 311) läbival rõhttasandil lx;
I_α — valgustugevus arvutuspunkti sihis cd;
H_{rk} — valgusti ripe arvutustasandi suhtes m;
α — nurk valguse sihi ja rõhtsa arvutustasandi ristsirge vahel.

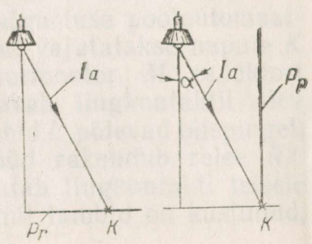
Seda valgustatust nimetatakse tinglikuks valgustatuseks, sest see arvutatakse tingliku lambi kohta, mille valgusvoog on 1000 lm. Teatud tegeliku lambiga tekitatava valgustatuse leidmiseks tuleb tinglik valgustatus korrutada teguriga, mille väärtuseks on antud lambi valgusvoo jagatis 1000-ga. Kui on vaja arvutada valgustatus mitte rõhttasandil, vaid püsttasandil või rõhtsihi suhtes mingi kaldega tasandil, siis korrutatakse rõhttasandi kohta leitud valgustatus siirdeteguriga, mille väärtus arvutatakse valemiga

$$n = \frac{l}{H_{rk}}, \text{ ja siis } E_p = E_r n = E \frac{l}{H_{rk}}, \qquad (480)$$

kus E_p on valgustatus püsttasandil olevas punktis K lx;
l — kaugus valgusti telje projektsioonist arvutuspunkti K läbival rõhttasandil kuni arvutuspunkti läbiva püsttasandini;
H_{rk} — valgusti ripe arvutuspunkti läbivast rõhttasandist.

Kui antud punkti valgustavad mitu valgustit, siis on kogu valgustatus selles punktis võrdne üksikute valgustitega tekitatavate valgustatuste summaga. Joonisel 311 on esitatud skeem valgustuse arvutamiseks punktimeetodil.

Valgustuse arvutamine erivõimsusmeetodil seisneb selles, et vattides ruutmeetri kohta (W/m²) väljendatava erivõimsuse ja ruumi pindala järgi arvutatakse kõigi valgustite kogu paigaldusvõimsus. Selleks et leida ühe lambi (ühe valgusti) võimsust, jagatakse selle ruumi kõigi lampide kogu paigaldusvõimsus lampide arvuga. Seda meetodit rakendatakse valgustusseadmete tarbimisvõimsuse ligikaudseks arvutamiseks.



Joon. 311. Skeem valgustuse arvutamiseks punktimeetodil: K — arvutuspunkt; P_r — arvutuspunkti läbiv rõhttasend; P_p — arvutuspunkti läbiv püsttasand

§ 5. Põllumajandusmasinate valgustus

Põllumajanduses kasutatakse paikseid ja liikuvaid põllumajandusmasinaid, millega töötatakse päeval, õhtuti ja öösiti. Valgustatuse suurendamine suurendab ka tööviljakust masinatega töötamisel.

Masinatele paigaldatud ja tööpindade valgustamiseks määratud kohavalgustuse valgustid kinnitatakse liikuvatele tugedele, nii et töötaja saab vastavalt töö iseloomule suunata valgusvoogu mistahes sihis.

Paikseid masinaid valgustatakse tavaliste hõõglampidega pingele 110 ... 220 V. Kohavalguseks kasutatakse alfavalgusteid. Liikuvate põllumajandusmasinate ja traktorite valgustuses kasutatakse lampe pingele 6 või 12 V. Nendel lampidel on piisav mehaaniline vastupidavus, sest nad on ette nähtud töötamiseks pideva rappumise olukorras. Liikuvate põllumajandusmasinate valgustusarmatuurina kasutatakse auto- või traktorilaternaid.

Põllumajandusmasina haardelaiuse ja tootlikkuse suurendamisel tuleb vastavalt suurendada ka valgustatavat pindala. Traktori ees ei tohi valgustatava riba laius olla agregaadi laiusest väiksem, pikkus aga mitte vähem kui 15 ... 20 m. Traktori liikumistingimustest lähtudes peab traktori ees oleval alal olema valgustatus vähemalt 5 lx.

Seni ei ole veel rangelt kindlakskujunenud viisi traktori taga ja külgedel paiknevate põllumajandusmasinate ja põllualade valgustamiseks määratud valgustusseadiste paigutamiseks. Mõnikord paigutatakse laternad traktorile, teinekord põllutöömasinale enesele, vahel aga paigutatakse laternad nii traktorile kui ka põllumajandusmasinale.

Üleliidulise Masinaehituse Instituudi (ВИМ) ja Autoseadmete Teadusliku Uurimise Instituudi (НИИ Автоприбор) uurimused tõendavad, et haakeriista valgustamiseks piisab ainult traktorile paigaldatud laternatest kõikide mullaharimistööde (künni, äestamise, koorimise, kultiveerimise) korral.

Traktoritel, kombainidel ja muudel põllumajandusmasinatel paiknevate laternate ja muude valgustite toitmiseks elektrienergiaga kasutatakse traktorile või kombainile paigaldatud generaatorit.

XV PEATÜKK

ELEKTRIENERGIA PÕLLUMAJANDUSLIKU TOOTMISE BIOLOOGILISTES PROTSESSIDES JA TEHNOLOOGIAS

§ 1. Kunstlik päev lindlates

Loomade ja lindude sügisesed ja talvised pidamistingimused erinevad suvistest söötmise, temperatuuritingimuste, päevavalguse kestuse ja (eriti ruumides) päikesevalguses sisalduva ultraviolettkiirguse hulga poolest.

Loomade saagianni suurendamiseks ning hooajalisuse kõrvaldamiseks liha, piima ja munade tootmisel püütakse talviseid ja suviseid pidamistingimusi lähendada. Lisavalgustus hõõg- või luminestsentslampidega suurendab kanade munevust tootmistingimustes 15...20% võrra aastas.

Professor Larionov täheldas oma katsetes veelgi suuremat munevuse kasvu. Nende katsete tulemused on esitatud tabelis 42.

Linnu east sõltuvalt pikendatakse päeva kunstlikult 13...15 tunnini (6-kuistele tibudele 13 h, 8-kuistele munakanadele 14 h, vanematele munakanadele 15 h). Elektervalgustus lülitatakse tavaliselt sisse kell 6 hommikul kuni täieliku valgenemiseni ja seejärel uuesti hämardumisest kuni kella 20. Liiga pikk päev väsitaks linde ja põhjustaks toodangu vähenemist. Tibudele soovitatakse ruumi pimendamise teel anda pärast söötmist tunniajane puhkus: 2...10 päeva vanuses 4 korda päevas, 11...20 päeva vanuses 3 korda päevas ja 21...30 päeva vanuses 2 korda päevas.

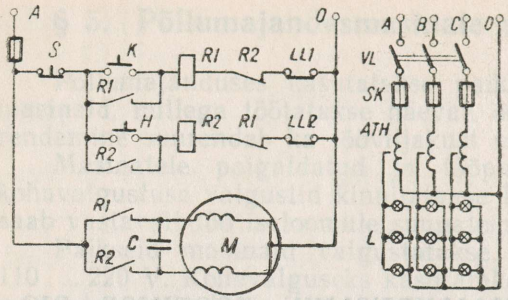
Lampide paigaldusvõimsus leitakse ruumi põranda pindala järgi: 3...5 W/m², kui lampide ripe on 1,2...2 m ja vahekaugus 3 m. Suurema rippe korral peab ka lampide võimsus olema suurem.

Lisavalgustuseks kasutatakse poolhermeetilisi portselanvalgusteid 60-...100-W hõõglampidega. Valgustus lülitatakse sisse ja välja pikkamööda 10...20 minuti jooksul, et linde hommikul järsku täisvalgusega mitte ehmatada ja anda neile õhtul aega puhkama asumiseks.

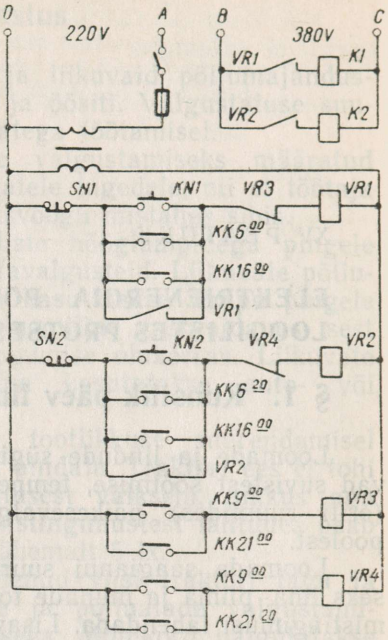
Valgusteid võib juhtida käsitsi, automaatselt või poolautomaatselt. Käsitsijuhtimise näitena võib mainida pool- ja täisvalguse sisselülitamist kahe lülitiga. Valgust võib tüürida ka liugreostaadiga, mis on arvestatud paigaldatud lampide koguvoolule ja mille takistus on 60% lülitatavate lampide takistusest.

Joonisel 312 on kujutatud linnufarmide lisavalgustuse poolautomaatjuhtimislülitus autotrafohämardiga ATH. Hommikul vajutatakse nupule *K* (*koit*). Nüüd nihutab kahefaasiline kondensaatormootor *M* reduktori kaudu autotrafo liugkontakti. Teekonna lõpul avab liugkontaktil olev nukk lõpplüliti *LL1* kontakti, mootor seiskub ja lambid *L* põlevad täispingel.

Õhtul vajutatakse nupule *H* (*hämarik*). Nüüd rakendub relee *R2*. Elektrimootor hakkab tagurpidi pöörlema ja nihutab liugkontakti teisele poole. Teekonna lõpul (12...20 minuti pärast), mil lambid on kustunud,



Joon. 312. Autotrafohämardi abil linnufarmi lisavalgustuse poolautomaatjuhtimislülituse skeem



Joon. 313. Lindlate lisavalgustuse automaatjuhtimislülituse skeem

avab lõpplüliti *LL2* relee *R2* mähise vooluringi ja elektrimootor seiskub. Lülituse võib muuta täisautomaatseks, andes impulsid (*koit* ja *hämarik*) näiteks kontaktkellalt. Sel juhul töötab seade häireteta elektervarustuse korral ilma teenindavate inimeste abita.

Joonisel 313 on kujutatud lülitus lindlate lisavalgustuse automaatjuhtimiseks kontaktkellaga (mille tunniosuti teeb ööpäevas täispöörde) valgustite kaheastmelise sisselülitamise teel. Hommikul enne koitu (näiteks kell 6) rakendub kontaktkella kontakti *KK6.00* kaudu vaherelee *VR1*, mis lülitab sisse esimese kontaktori *K1*, see omakorda aga esimese lambirühma. 20 minuti pärast rakendub kontaktkella kontakti *KK 6.20* kaudu teine vaherelee *VR2*, mis lülitab sisse teise kontaktori *K2* ja see omakorda teise lambirühma.

Kui saabub täielik päevavalgus, sunnib kontaktkell kontaktiga *KK 9.00* rakenduma vahereleed *VR3* ja *VR4*, mis lülitavad kõik lambid välja. Õhtul rakenduvad kontaktkella kontakti *KK16.00* kaudu vahereleed *VR1* ja *VR2* ning lülitub sisse täisvalgustus. Valgustuse väljalülitamiseks antakse käsklus esmalt kontaktiga *KK21.00* ja lõplikult siis, kui linnud on õrtele istunud, kontaktiga *KK21.20*. Kellaga käskluste andmise ajad seatakse vastavalt loomuliku päevavalguse muutumisele. Vajaduse korral saab valgustust väljaspool seatud aega sisse ja välja lülitada nuppudega *KN1*, *KN2* *SN1* ja *SN2*.

Tähelepanu väärivad professor G. A. Kodintsi huvitavad katsed. Tema andmete kohaselt annab ühekordne öine 2 tunni jooksul valgustamine koos öise lisasöötmisega mõnevõrra suurema munevuse kasvu kui tavaline hommikune ja õhtune lisavalgustus lindlates.

Lisavalgustus tuleb sisse lülitada korrapäraselt ja õigeaegselt. Linnu söödaannus peab pikendatud päeva korral olema toitvam kui tavalise pikkusega päeva korral, vastates kevadisele annusele. Tavalistes tingimustes on elektrienergia kulu ühe linnu kohta aastas keskmiselt 4,7 ... ... 5,4 MJ (1,3 ... 1,5 kWh), kui lisavalgustuse kogukestus on 1000 h aastas.

Tabel 42

Keskmine munevus ühe linnu kohta aastas

Linnu liik	Valgustamiseta tk.	Valgustamisel tk.	Suurenemine %
Kanad	136,1	177,9	30,7
Kalkunid	72,0	104,2	44,2
Pardid	76,3	154,8	203
Haned	28,8	93,0	323
Tuvid	6,5	10,7	64,6

§ 2. Taimede kasvatamine kunstlikul valgustusel

Valgus etendab taimede elus tähtsat osa. Valguse abil toimub taime leherohelises ehk klorofüllis fotosüntees, s. o. õhu süsihappegaasist süsivesikute kogumine taime rohelisse massi ja vilja.

Kasvuhoonetes ei piisa sügistalvel köögivilja normaalseks kasvamiseks päikesevalgusest. Seepärast täidetakse loomuliku valguse puudujääk kunstliku valgustusega.

Lisavalgustuse kestuse t (kuudes) aastas NSV Liidu eri paikades võib leida valemiga $t = 0{,}167G - 3{,}5$, kus G on paiga geograafiline laius kraadides.

Näiteks Moskva laiusel (56. laiuskraadil) $t = 0{,}167 \times 56 - 3{,}5 = 5{,}85 \approx 6$ kuud aastas. Dicksoni saarel (75. laiuskraadil) $t = 0{,}167 \times 75 - 3{,}5 = 9$ kuud aastas.

Päevavalguse kestus peab vastama antud kultuurtaime nõudmistele. Lühipäevataimed nõuavad valgusstaadiumi läbimise kestel lühikest valget aega — mitte üle 12 h ja alla 8 h. Selline päev soodustab palju kiiremat õitselepuhkemist ja viljakandmise alguse saabumist. Sellesse taimede rühma kuuluvad kurgid, mõned tomati- ja aedoa sordid, baklažaanid, pipar jt. kultuurid. Pikapäevataimedel kiireneb õitselepuhkemine, kui päeva pikkus on 14 ... 17 h ööpäevas. Sellesse rühma kuuluvad salat, redis, spinat. Kuid suurimat majanduslikku saaki annavad need taimed lühikese päeva korral.

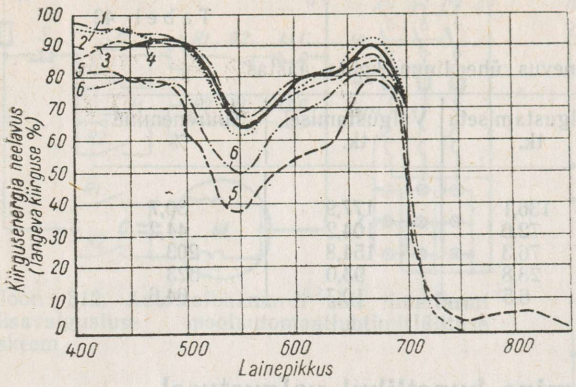
Esimesse rühma kuuluvad lõunamaise, teise aga põhjamaise päritoluga taimed. Kuid ka siin on erandeid. Näiteks tomatitel, mis oma päritolult on lõunamaised taimed, on sorte, mis kasvavad ja kannavad vilja täiesti normaalselt, kui päeva pikkus on 15 ... 16 h ööpäevas.

Parimaid tulemusi lisavalgustusega saavutatakse sel juhul, kui valgusallika kiirgus niihästi energiavootiheduse kui ka spektraalkoostise mõttes kõige täielikumalt antud taime rahuldab.

Lampide kiirguse spektraalkoostis peab suurimal määral soodustama põhiliste füsioloogiliste protsesside kulgemist. Selleks on vaja kiirgust, mis sisaldab kõiki nähtava spektri piirkondi, valdavas osas punast, sinist ja violettkiirgust, ühtlasi aga mõningal määral ka infrapuna- ja ultravioletkiirgust. Selle nn. optilise kiirguse üksikuid piirkondi iseloomustatakse lainepikkusega λ nanomeetrites:

violetne — 390 ... 440 nm, sinine — 440 ... 490 nm, roheline — 490 ... 565 nm, kollane — 565 ... 595 nm, oranž — 545 ... 620 nm, punane — 620 ... 760 nm.

Taime elus etendavad põhilist osa nähtava valguse kiirgused lainepikkusega 400 ... 700 nm, mida nimetatakse füsioloogiliseks kiirguseks. Nähtavast kiirgusest on suurima füsioloogilise toimega oranžpunased ja sinivioletsed kiirgused, väiksema toimega aga rohelised (joon. 314).



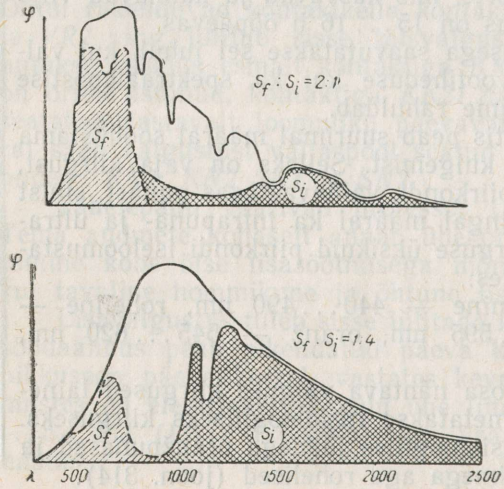
Joon. 314. Köögiviljataimede lehtede kiirgusenergia neelavuse kõverad:
1 — spinat; *2* — uba; *3* — peet; *4* — aeduba; *5* — salat; *6* — kapsas

Lühilainelised ultraviolettkiirgused lainepikkusega 100...280 nm toimivad taimedele hävitavalt. Nendega 10...15 minuti vältel kiiritamine kutsub esile lehtede kolletumise, varte keerdumise ja taimede kasvupunktide väljasuremise. Seega ei tohi kiirgusenergia allikaid, mis tekitavad kiirgust piirkonnas 100...280 nm, kasvuhoonetes lisavalgustuseks kasutada. Ultraviolettkiirgus lainepikkusega 280...380 nm, kui ta moodustab 1% kogu kiirgusest, on ainevahetusele kasulik ja soodustab taime arenemist.

Kiirgusenergia allika infrapunakiirgus ei tohi põhjustada taime liigkuumenemist.

Pigmentides infrapunakiirgus ei neeldu, neeldub aga taime kudede koostisse kuuluvas vees. Muundudes seejuures soojuseks, põhjustabki ta kudede ja taimeraku üksikute osade liigkuumenemist. Rikkudes taimele omast tavalist sisetemperatuuri jaotust, avaldab seega hõõglampide infrapunakiirgus, mis moodustab 80% nende kogukiirgusest, kaudselt negatiivset mõju fotosünteesile ning muudele taime eluliselt tähtsatele talitlustele.

Joonisel 315 on esitatud üldine taimede energianeelavuse iseloom loomulikus valguses ja hõõglampide kiirgusvoos. Kui esimesel juhul



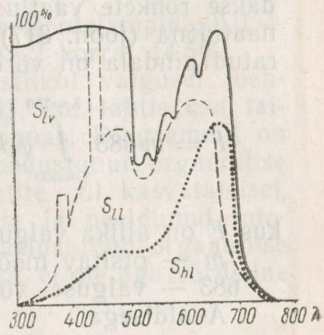
Joon. 315. Taimede kiirgusenergia neelavus loomulikus (päikese-) valguses (üleval, Nitšiporovitši järgi) ja hõõglampide valguses (all, Artemjevi järgi):
S_f — neelavus fotosünteesi piirkonnas; S_i — neelavus infrapunakiirguse piirkonnas

suhtub neeldumine fotosünteesi piirkonnas neeldumisse infrapunapiirkonnas nagu 2 : 1, siis hõõglampide valgusvoos on viimane 8 korda suurem (1 : 4).

Selle liigkuumenemise kahjulikud tagajärjed ilmnevad väliselt taime põhiosade pikaks sirgumisena, lehtede moondumise ja väikseks jäämisena, häiretena õitsemises ja viljade moodustumises ning muude haigusnähtudena, mida võib täheldada taimede täielikul kunstlikul valgustamisel hõõglampidega.

Infrapunakiirguse kahjulikku liigkuumutust saab vältida sellise keeruka võttega nagu hõõglampide soojuskiirguse tõkestamine vooluvesifiltritega. Kuid selliste seadmete suurtele pindadele ehitamisel esinevad tehnilised raskused ning tohutu elektrienergia kulu ja väike tõhusus (erivõimsus suurusjärgus 4,8 ... 10 kW/m², tomatisaak aga 0,2 ... 0,5 kg põõsa kohta) muudavad selle viisi rakendatavuse tootmistingimustes täiesti ebareaalseks.

Kõige tõhusamateks osutuvad luminestsentslampidega seadmed ning kombineeritud seadmed luminestsents- ja hõõglampidega. Energiajaotus luminestsentslampide valguses on kujutatud joonisel 316.



Joon. 316. «Keskmise eluslehe» energianeelavuse kõver (pidev joon), luminestsentslampidega ЛД + ЛТБ valgusti fotosünteesivoo kõver (kriipsjoon), hõõglambi fotosünteesivoo kõver (punktjoon); S_{lv}, S_{ll}, S_{hl} — abstsissteljega ning loomuliku valguse, luminestsentslambi ja hõõglambi fotosünteesivoo neelavuse kõveratega piiratud pindalad

Taime poolt omastatavat ja fotosünteesi kaudu temasse toimivat kiirgusvoogu nimetatakse fotosünteesi kiirgusvooks ehk fütovooks. Kiirgusallika fütovoog Φ väljendub valemiga

$$\Phi = m \int_{\lambda=300}^{\lambda=750} G_\lambda \varphi_\lambda \, d\lambda = m \int_{\lambda=300}^{\lambda=750} \psi_\lambda \, d\lambda, \tag{481}$$

kus m on mõõtkava;

φ_λ — kiirgusenergia allika suhteline spektraaltihedus lainepikkusel λ (on antud allika iseloomustajaks);

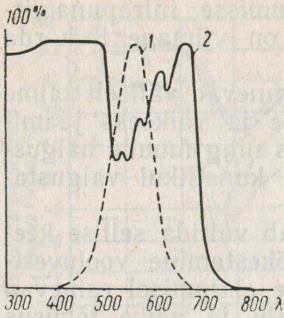
$\psi_\lambda = G_\lambda \varphi_\lambda$ — kiirgusenergia allika suhteline spektraaltihedus fütovoo järgi lainepikkusel λ.

Tegur G_λ iseloomustab taime aluslehe pigmentide suhtelist monokromaatiliste kiirguste neelavust ja seda nimetatakse taimelehe suhtelise spektraaltundlikkuse teguriks. Tegur G_λ leitakse suhtega

$$G_\lambda = \frac{\psi}{\varphi}, \tag{482}$$

kus ψ on kiirgusenergia allika spektraaltihedus fütovoo järgi lainepikkusel λ W/nm;

φ — kiirgusenergia allika spektraaltihedus lainepikkusel λ W/nm.



Joon. 317. Suhtelise nägevuse kõver *1* ja «keskmise eluslehe» monokromaatiliste kiirguste suhtelise neelavuse kõver *2* (Klešnini järgi)

Tegelikult kasutatakse keskmise taimelehe kohta kujundatud graafikut $G_\lambda(\lambda)$ või täpsemaks arvutuseks selle taime lehe kohta kujundatud graafikut, mille jaoks seadet arvutatakse või analüüsi tehakse. Integraal $\int_{\lambda=300}^{\lambda=750} \psi_\lambda \, d\lambda$ leitakse graafiliselt. Selleks korrutatakse kõvera $\varphi_\lambda(\lambda)$ ordinaadid kõvera $G_\lambda(\lambda)$ ordinaatidega vastavatel (λ) väärtustel. Saadakse andmed graafiku $\psi_\lambda(\lambda)$ kujundamiseks.

Kõveraga ψ_λ (λ), abstsissteljega ning sirgetega $\lambda = 300$ ja $\lambda = 750$ piiratud pindala ongi otsitavaks lahendiks. Mõõtkava m leidmiseks korrutatakse kõvera $\varphi_\lambda(\lambda)$ ordinaate (suhtelistes ühikutes) neile vastavate inimsilma suhteliste spektraaltundlikkuse teguritega, teiste sõnadega, inimsilma suhtelise nägevuse väärtustega, mis saadakse rohkete vaatluste põhjal kujundatud katselise kõvera $k_\lambda(\lambda)$ ordinaatidena (joon. 317). Saadud graafikuga $f_\lambda(\lambda)$ ja abstsissteljega λ piiratud pindala on võrdeline allika valgusvooga:

$$F = m\,683 \int_{\lambda=300}^{\lambda=750} \varphi_\lambda k_\lambda \, d\lambda = m\,683 \int_{\lambda=300}^{\lambda=750} f_\lambda \, d\lambda, \qquad (483)$$

kus F on allika valgusvoog (saadakse kataloogist) lm,
m — otsitav mõõtkava W/mm^2,
683 — valguse võimsusekvivalent lm/W.
Avaldisega

$$\int_{\lambda=300}^{\lambda=750} \varphi_\lambda k_\lambda \, d\lambda = \int_{\lambda=300}^{\lambda=750} f_\lambda \, d\lambda \qquad (484)$$

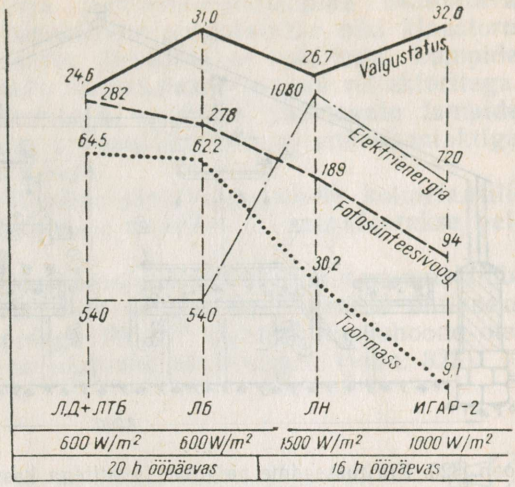
väljendatav pindala ruutmillimeetrites saadakse planimeetrimise teel.

Et inimsilma suhtelise spektraaltundlikkuse tegur $k_\lambda(\lambda)$ oluliselt erineb taimelehe suhtelise spektraaltundlikkuse tegurist $G_\lambda(\lambda)$, siis ka allika fütovoog Φ erineb tunduvalt valgusvoost F.

Taimede valgustamiseks ja elukondlikeks vajadusteks määratud allikate spektraaltunnusjooned peavad olema erisugused.

Kui on olemas allika integraalkiirguse kõver, siis võib selle kõvera ordinaatide korrutamise teel vastavate G_λ väärtustega leida fotosünteesi kiirgusvootiheduse ja kujundada selle graafiku.

Joonisel 316 on esitatud sellised kõverad (G. V. Artemjevi järgi) hõõglampide kohta ning päevavalguse ja sooja valge valguse luminestsentslampe sisaldava valgusti kohta. Samas on esitatud kõver $G_\lambda(\lambda)$. Kõvera G_λ (λ) iseloom peegeldab taime bioloogilisi nõudeid valgustustingimuste suhtes. Erinevus selle kõvera ja mingi kiirgusenergia allika fotosünteesi kiirgusvoo kõvera vahel näitab, kuivõrd allika kiirgus spektraalkoostiselt vastab taime nõuetele. Vastavuse määra võib väljendada abstsisstelje ja allika (suhtelistes ühikutes väljendatud) fotosünteesi kiirgusvoo kõveraga piiratud pindala ning abstsisstelje ja taimelehe suhtelise spektraaltundlikkuse kõveraga piiratud pindala suhtena.



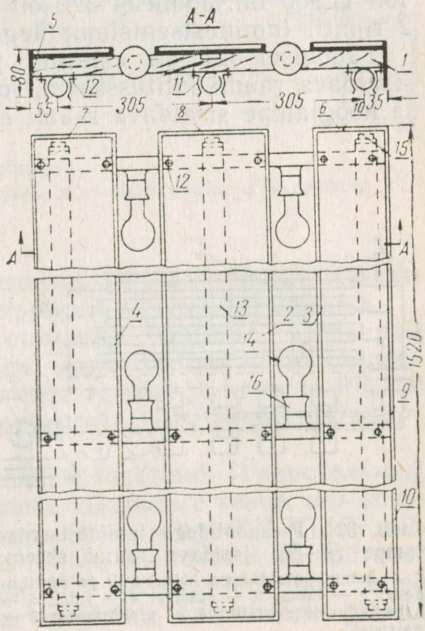
Joon. 318. Orgaanilise aine moodustumine tomatiseemikutes sõltuvalt kunstliku valgustuse spektraalkoostisest mitmesuguste kiirgusallikate all: ЛД + ЛТБ — valgusti luminestsentslampidega ЛД ja ЛТБ; ЛБ — valgusti luminestsentslampidega ЛБ; ЛН — hõõglambid; ИГАР-2 — intensiivse helendusega argoon-elavhõbelamp

Hõõglampide korral on see suhe 27,6%, luminestsentslampide ЛД + + ЛТБ korral 52,3%, elavhõbe-argoonlampide Игар-2 korral 14,5%.

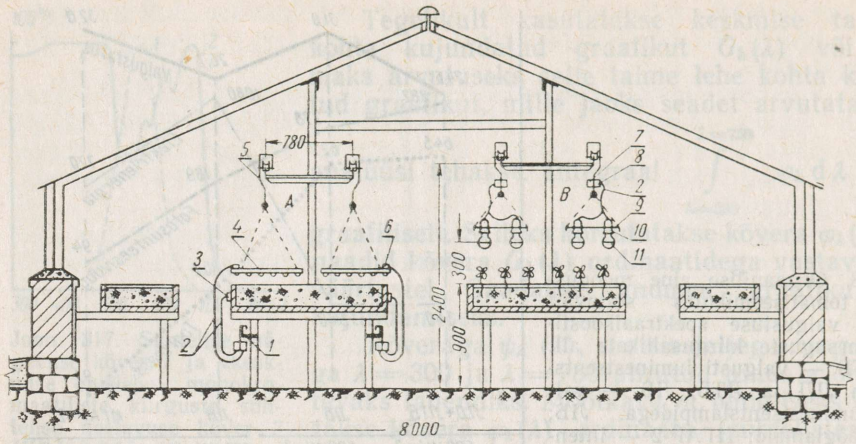
Katsed tomatite kasvatamiseks täielikul kunstlikul valgusel tõendavad kujukalt (joon. 318, G. V. Artemjevi järgi), kui tähtis osa taimede kasvatamisel on kiirgusel fotosünteesi piirkonnas. Diagrammil on esitatud tomatiseemikute 30 kasvupäeva jooksul moodustunud orgaanilise toormassi kogus mitmesuguste lampidega valgustite all kasvatamisel, valgusvoo väärtus, samuti kulutatud elektrienergia ja neeldunud fotosünteesienergia. Diagramm näitab piltlikult, et moodustunud orgaanilise massi kogus on võrdeline fotosünteesivoo väärtusega, ei ole aga võrdeline elektrienergia kuluga ning valgustatusega.

Istikute kiiritamiseks kasvuhoone lavatitel on Riiklikus Põllumajanduslik Projekteerimise Instituudis (Гипросельхоз) loodud 7 tüüpi erielektriseadisi järgmiste lampidega: luminestsentslampidega ЛБ-30, luminestsentslampidega ЛБ-40 paispoolsüütega, luminestsentslampidega ЛБ-80 trafosüütega, luminestsentslampidega ЛБ-30, ЛБ-40 ja ЛБ-80 koos voolu piiravate hõõglampidega, lampidega РВ-350.

Võimsuse ning koos sellega ka seadmete maksumuse ja kasutamiskulude vähendamiseks jaotatakse elekterkiiritus ajaliselt kahte järku, mis võimaldab kasvuhoonetesse paigaldada 100% keskmiste lavatite pindala kohta ainult 50% lampe.



Joon. 319. Raam luminestsentslampidega ЛБ-80 ja hõõglampidega НБ-5:
1 — pruss; *2*, *3*, *4* ja *5* — vineerist reflektorid; *6*, *7*, *8* ja *9* — liistud; *10* — naelad; *11* — klambrid; *12* — puidukruvid; *13* — luminestsentslamp; *14* — hõõglamp; *15* — lambihoidik; *16* — portselanpesa



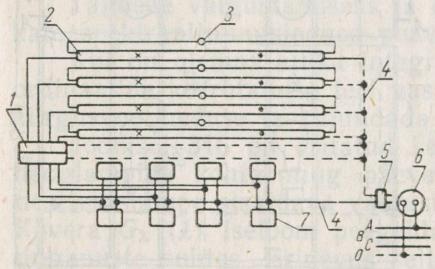
Joon. 320. Kiiritusseadme paigutus lavatitega kasvuhoones:
A — luminestsentslampidega, *B* — lampidega PB-350; *1* — liikuv paispoolidega vanker; *2* — juhe vinüülkloriidtorus; *3* — kahepooluseline pistikupesa ja pistik; *4* — luminestsentslampidega raam; *5* — liikuv vanker; *6* — kammkontaktidega klotspistik ja pistikupesa; *7* — tolmu- ja veetihe harukarp; *8* — niiskuskindel pistikupesa kahepooluselise pistikuga; *9* — riputi kahele lambile; *10* — lambipesa; *11* — elavhõbe-volframlamp PB-350

Pärast lavatite ühe jao kiiritamise lõppu nihutavad kasvuhoonetöötajad luminestsentslampidega raamid käsitsi kasvuhoone rippteed mööda istikute kiiritamise teise jao kohale.

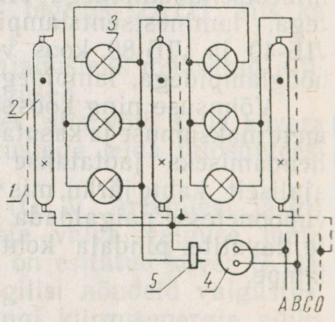
Arvutuslik erivõimsus istikute kiiritamiseks on vastavalt NSVL Põllumajanduse Ministeeriumi Maaharimise Peainspektsiooni andmetele järgmine: kurgiistikutele 400 W/m², tomatiistikutele 500 W/m². Istikute kiiritamiseks paigaldatakse luminestsentslambid raamidele (joon. 319).

Elavhõbe-volframlambid PB-350 paigaldatakse paarikaupa eririputile. Üks riputi kahe sellise lambiga tagab erivõimsuse 500 W/m² ja valgusvoo 11 900 lm. Joonisel 320 on kujutatud 2 riputit lampidega PB-350 ja 2 riputit luminestsentslampidega.

Joonisel 321 on esitatud paispoolidega luminestsentslampe ЛБ-80 sisaldava raami lülitusskeem, joonisel 322 aga samu luminestsentslampe ja hõõglampe sisaldava raami elektriskeem.



Joon. 321. Paispoolidega luminestsentslampe ЛБ-80 sisaldava raami skeem:
1 — kammkontaktidega klotspistik ja pistikupesa; *2* — lamp; *3* — starter; *4* — juhe; *5* — kahepooluseline pistik; *6* — pistikupesa; *7* — paispool

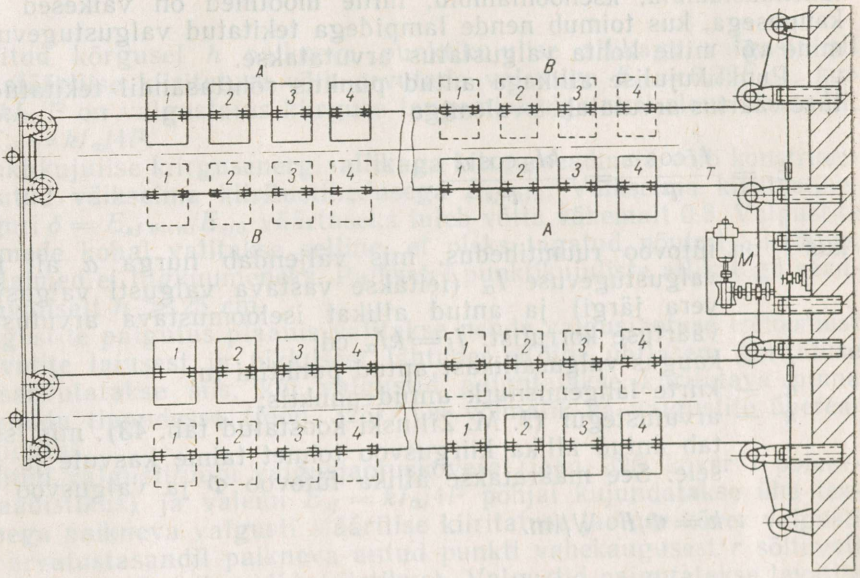


Joon. 322. Luminestsentslampe ЛБ-80 ja hõõglampe sisaldava raami skeem:
1 — tsingitud traat; *2* — lamp ЛБ-80; *3* — hõõglamp; *4* — pistikupesa; *5* — pistik

Voolu piiravate hõõglampidega luminestsentslampide usaldatava süttimise ja püsiva helendamise tagamiseks paigutatakse piki klaastoru tsingitud terastraat, mis lambi otstes ühendatakse soklitega. Lampide valgusvoo paremaks ärakasutamiseks varustatakse raamid reflektoritega. Rühmaliinilt paigaldatakse reflektoritega raamides paiknevate lampide juurde haruliinid, mis ühendatakse kahepooluseliste maanduskontaktiga varustatud hermeetiliste pistikupesadega.

Kasvuhoone sisestusse paigaldatakse jaotuskapp viiele kolmefaasilisele rühmaliinile. Rühmaliinid ehitatakse kaablist ja paigaldatakse pellidega lavatite küljelaudade külge.

Lampide PB-350 kiirguse värvus püsiolukorras on luminestsentslambi ЛД ja hõõglambi НБ kiirguse värvuste vahepealne. Taimede ühtlaseks valgustamiseks õõtsutatakse lampidega PB-350 riputeid kasvuhoone otsseinale paigaldatud ajami abil 2 m ulatuses edasi-tagasi (joon. 323).



Joon. 323. Lampe PB-350 sisaldav õõtsriputi:
A — esimene kiiritusjärk; *B* — teine kiiritusjärk; *M* — ajami mootor; *T* — veotross

Kiirituse kestel liikuvate lampide juurdeviik tehakse painduvast vaskjuhtmest, mis on tõmmatud veotrossile riputatud vinüülkloriidtorusse.

Rühmaliine lülitatakse kasvuhoone otsseinale sisestuse juurde paigaldatud kolmepooluseliste vinnaklülititega. Raamide ripe sõltub taimede pikkusest. Luminestsentslampide reflektoritega raamid ja lampide PB-350 riputid võetakse pärast kiiritushooaja lõppu maha ja säilitatakse konserveeritult laos.

Riikliku Põllumajandusliku Projekteerimise Instituudi (Гипросельхоз) andmete järgi on kõige ökonoomsem taimede kiiritamise seade, mis koosneb luminestsentslampidest ЛД-80 (võimsus 80 W, pinge 220 V), ja millest igaühega on ühendatud jadamisi kaks rööbiti ühendatud voolupiiravat hõõglampi НБ-5 (võimsus 109 W, pinge 220 V). Igal eri juhul tuleb valida vastav seadmetüüp, kusjuures arvestatakse kasvuhoone plaani,

elektrienergia olemasolu, hinda ja saamise võimalusi, agrotehnilisi nõudeid, kasvatamise tähtaegu, mitmesugust tüüpi valgustite ja seadmete saamise võimalusi.

Kasvuhoonete ohutustehnika. Kasvuhoonete elektrikiiritusseadmeid hooldab elektrimontöör, kes tunneb elektriseadmete ehituse ja ohutustehnika eeskirju mitte vähem kui III grupi ulatuses.

Seadmete kasutamisel tuleb täita järgmisi nõudeid: teenindavad isikud peavad tundma seadme ehitust, tööolukordi, ohutustehnika eeskirju ja elektrivoolust kahjustatule esmaabi andmise viise; montöör peab tegema hooldustöid, vahetama lampe ja kaitsmeid, korrastama lambihoidikuid ja kõrvaldama muid rikkeid väljalülitatud seadme korral; elektrikiiritusseadme metallosad, riputid, elektrimootor ja muud osad, mis võivad isolatsiooni vigastuse tagajärjel pingestuda, peavad olema maandatud.

Kasvuhoonete paiksete punktikujuliste kiirgusenergiaallikatega kiiritusseadmete arvutus (J. M. Žilinski järgi). Punktikujulisteks kiirgusenergiaallikateks on hõõglambid, parendatud kiirgusvärvusega elavhõbe-gaaslahenduslambid, ksenoonlambid, mille mõõtmed on väikesed võrreldes kaugusega, kus toimub nende lampidega tekitatud valgustugevuse mõõtmine või mille kohta valgustatus arvutatakse.

Punktikujulise allikaga antud punktis rõhttasandil tekitatud kiiritatuse väärtus arvutatakse valemiga

$$E_r = \frac{I_f \cos \alpha}{l^2} = \frac{k I_\alpha \cos \alpha}{l^2}, \qquad (485)$$

kus I_f on fütovoo ruumtihedus, mis väljendab nurga α all kujuneva valgustugevuse I_α (leitakse vastava valgusti valgusjaotuskõvera järgi) ja antud allikat iseloomustava arvutusteguri k väärtuse korrutist: $I_f = kI_\alpha$ cd;

l — kaugus valgusallikast antud punktini m;

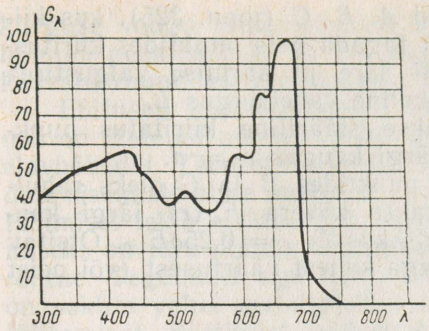
α — kiirte langemisnurk antud punktis;

k — arvutustegur (J. M. Žilinski koostatud tab. 43), mis iseloomustab antud allika kiirgusvoo toimet taime kasvule ja arenemisele. See määratakse allika fütovoo Φ ja valgusvoo suhtena:

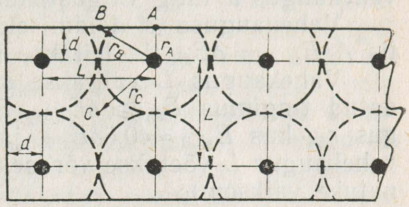
$k = \Phi/F$ W/lm.

Tabel 43

Kiirgusenergiaallikas	Kiirgusenergiaallika tarbimisvõimsus P W	Valgusvoog F lm	Fütovoog Φ W	Fütovoo sisaldus kiirgusvoos $a = \Phi/F_f$ W/W	Arvutustegur $k = \Phi/F$ W/lm	Kiirgusenergiaallika fütovoo viljakus $H_f = \Phi/P$ W/W	Märkused
ЛД-30	37	1160	2,63	0,548	$2{,}26 \cdot 10^{-3}$	0,071	Selle tabeli koostamisel on kasutatud keskmise taimelehe suhtelise spektraaltundlikkuse kõverat (I. I. Sventitski järgi).
ЛД-40	48	1700	3,86	0,548	$2{,}26 \cdot 10^{-3}$	0,0805	
ЛД-80	96	2720	6,18	0,548	$2{,}26 \cdot 10^{-3}$	0,0645	
ЛБ-30	37	1400	2,12	0,528	$1{,}51 \cdot 10^{-3}$	0,0574	
ЛБ-40	48	1920	2,9	0,528	$1{,}51 \cdot 10^{-3}$	0,0605	
ЛБ-80	96	3680	5,6	0,528	$1{,}51 \cdot 10^{-3}$	0,0583	
ДРЛ-500	560	21000	32	0,563	$1{,}52 \cdot 10^{-3}$	0,0572	



Joon. 324. «Keskmise» taimelehe suhtelise spektraaltundlikkuse kõver (I. I. Sventitski järgi)



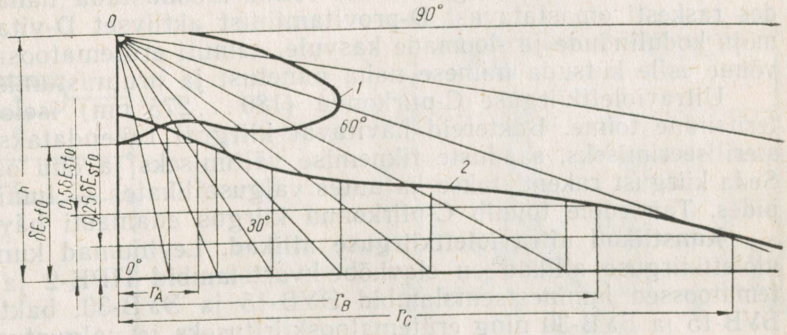
Joon. 325. Valgustite paigutus ruudu tippudes

Valitud kõrgusel h paikneva punktikujulise allikaga valgusti all tekkiva sfäärilise kiiritatuse võib arvutada valemiga $E_{sf} = 0{,}25E_{max}$, kus $E_{max} = kI_\alpha/l^2$ on valgustatus kiirguse langemissihiga risti oleval tasandil; seega $E_{sf} = kI_\alpha/4l^2$.

Punktikujulise kiirgusenergiaallikaga kiirgusseadmeid võib konstrueerida nõutud väikseima kiiritustihedusega $E_{sf\,min}$. Väikseima kiiritustiheduse teguri $\delta = E_{sf\,min}/E_{sf0}$ väärtuseks tuleb võtta vähemalt 0,8. Valgustite ripe taimede kohal valitakse selline, et oleks tagatud nõutud kiiritatus, kuid et taimed ei liigkuumeneks. Paiksetel punktikujuliste allikatega seadmetel tavaliselt $h \geqslant 25$ cm.

Valgustite paigutus plaanis valitakse nende valgusjaotuse iseloomust ning lavatite laiusest ja pikkusest lähtudes. Kõige ühtlasem kiiritatuse jaotus saavutatakse siis, kui valgustid paigutatakse kiiritatava pinna kohale ruudu tippudesse (joon. 325). On võimalik ka valgustite üherealine paigutus.

Valitud valgustitüübi valgusjaotuskõvera (joon. 326, kõver *1* polaarkoordinaadistikus) ja valemi $E_{sf} = kI_\alpha/4l^2$ põhjal kujundatakse ühe teatud rippega paikneva valgusti sfäärilise kiiritatuse jaotuse kõver valgusti telje ja arvutustasandil paikneva antud punkti vahekaugusest r sõltuvalt (joon. 326, kõver *2* ristkoordinaadistikus). Valgustid paigutatakse lavatite



Joon. 326. Valgusti valgusjaotuskõver *1* ja valgusti all tekkiva sfäärilise kiiritatuse jaotuse kõver *2*

plaanile ja leitakse iseloomulikud punktid *A*, *B*, *C* (joon. 325), kus kiiritatus võib osutuda kõige väiksemaks. Et tagada neis punktides kiiritustihedust $E_{sf} \geqslant \delta_{sf0}$, on vaja leida lavati ääre ja äärmise valgustirea vahekaugus *d* ning valgustiridade omavaheline vahekaugus *L*.

Vahekauguse *d* leidmiseks arvutatakse sfääriline kiiritatus punktis *A* $E_{sf\,A} = \delta E_{sf0}$ ja leitakse kõvera *2* järgi kaugus $r_A = d$.

Vahekaugus *L* valitakse selliselt, et punktides *B* ja *C* oleks rahuldatud tingimus $E_{sf} \geqslant \delta E_{sf0}$. Selleks leitakse kõvera $E_{sf}(r)$ järgi kaugus r_B, kus $E_{sf\,B} = 0{,}5\delta E_{sf0}$, ja kaugus r_C, kus $E_{sf\,C} = 0{,}25\delta E_{sf0}$. Otsitav vahekaugus *L* võetakse võrdseks väiksemaga kahest väärtusest (või neist natuke väiksem):

$$L_1 = 2\sqrt{r_B^2 - d^2} \quad \text{ja} \quad L_2 = \sqrt{2}\, r_C \quad L \leqslant L_1 \text{ või } L_2.$$

§ 3. Ultraviolettkiirguse rakendamine

Põllumajandusloomade ja -lindude ultraviolettkiiritust rakendatakse sügistalvel.

Moskva oblasti loomakasvatusmajandites laudahooajal korraldatud katsed tõendasid, et kunstliku ultraviolettkiiritusega saab loomade ja lindude toodangut 25% võrra suurendada. Ultraviolettkiiritus, ilma et kiiritatav märgatavalt soojeneks, avaldab taimedele ja loomadele tunduvat toimet, kutsudes neis esile mitmeid keerukaid füüsikalisi ja keemilisi muutusi, mis mõjustavad elusorganismis kulgevaid füsioloogilisi ja bioloogilisi protsesse.

Ultraviolettkiirgus on elektromagnetlainete spektri ala lainepikkuste piirkonnas 5 ... 400 nm, mis piirneb ühelt poolt nähtava spektrialaga (400 ... 760 nm) ja teiselt poolt röntgenkiirguse piirkonnaga (0,004 ... ... 5 nm).

Ultraviolettkiirguse lühilaineline osa 5 ... 180 nm tänapäeval praktilist huvi põllumajandusloomade ja -lindude kiiritamise eesmärgil ei paku, sest selle laineala kiirgused, eriti lainepikkustega alla 120 nm, neelduvad õhus tugevasti. Tegelikku huvi pakuvad järgmised kolm ultraviolettkiirguse piirkonda.

Ultraviolettkiirguse A-piirkond (320 ... 400 nm) sisaldab kiirgusi, mida laialdaselt rakendatakse luminestsentsanalüüsiks, samuti ka helendavate ainete ergastamiseks signaal-, dekoratiiv- ja muudes seadmetes. Nende kiirguste bioloogiline toime on suhteliselt väike.

Ultraviolettkiirguse B-piirkonda (275 ... 320 nm) iseloomustab antirahhiitiline toime elusorganismile, võime moodustada nahaalustes kudedes raskesti omastatavast D-provitamiinist aktiivset D-vitamiini, soodus mõju kodulindude ja -loomade kasvule, samuti erütematoosne toime, s. o. võime esile kutsuda inimese naha punetust ja pruunistumist.

Ultraviolettkiirguse C-piirkonda (180 ... 275 nm) iseloomustab bakteritsiidne toime. Baktereid hävitavat kiirgust rakendatakse õhu ja vee steriliseerimiseks, saaduste riknemise vältimiseks ja õhu osoneerimiseks. Seda kiirgust rakendatakse ka uutes valgusallikates — luminestsentslampides. Taimedele toimib C-piirkonna kiirgus enamasti hävitavalt.

Kunstlikud ultraviolettkiirguse allikad. Levinumad kunstlikud ultraviolettkiirguse allikad on elavhõbe-kvartslambid ПРК-2 ja ПРК-4, erütematoossed luminestsentslambid ЭУВ-15 ja ЭУВ-30, bakteritsiidlambid БУВ-15 ja БУВ-30 ning erütematooskiirituseks ja valgustuseks kasutatavad elavhõbe-volframlambid РВЭ-350.

Sirged elavhõbe-kvartslambid ПРК tekitavad tugevat ultraviolett-

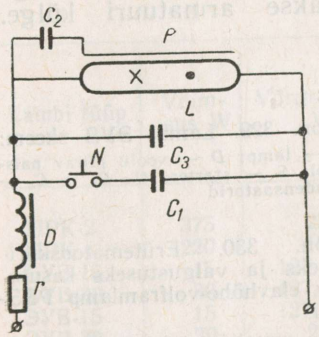
kiirguse voogu lainepikkusest 240 nm kuni nähtava spektri piirini, mis hõlmab peamiselt A- ja B-piirkonda. Seepärast kasutatakse neid loomakasvatusruumides profülaktika ja ravi eesmärgil.

Ehituselt kujutab lamp ПРК endast sirget sulatatud kvartsist toru, mis on täidetud madalal rõhul oleva argooniga ja sisaldab vähesel hulgal elavhõbedat. Toru otstesse on sulatatud kaks volframelektroodi. Elektroodide sisemiste otste ümber on mähitud oksiidikihiga keermik. Lambist voolu läbimisel tekib elektroodide vahel gaaslahendus. Lambi hoidikusse asetamiseks on toru otstele kinnitatud soklid. Lampide normaalne tööasend on rõhtne. Tegelikult aga töötavad nad mistahes asendis. Toru välispinnal on soklite vahel metallplekist riba, mis hõlbustab lambi süttimist sisselülitamisel. Süttimist hõlbustab elektrostaatiline mõju lambi lahendusruumile.

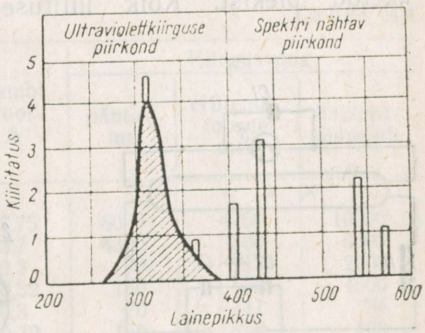
Lampe ПРК toidetakse põhiliselt vahelduvvooluvõrgust, kuid vastava lülitusega eriseadiste kaudu võib neid toita ka alalisvooluvõrgust. Lambi ПРК vahelduvvooluvõrgust toitmise lülituse põhimõtteskeem on esitatud joonisel 327. Lambil *L* on langev voltampertunnusjoon ja püsikindlaks helendumiseks peab temaga olema ühendatud jadamisi paispool *D*, mis tõusva voltampertunnusjoone tõttu piirab lampi läbivat voolu. Lambi sisselülitamise alghetkel tekkida võiva voolutõuke piiramiseks ühendatakse paispooliga jadamisi veel tegevtakisti *r*. Süttimise hõlbustamiseks on lülituses kaks kondensaatorit *C1* ja *C2*. Kondensaator *C3* vähendab lambi töötamisel tekkivaid raadiohäireid.

Lamp süttib kas vinnaklülitiga võrkulülitamisel või kondensaatori *C1* vooluringi korduval sulgemisel ja avamisel nupplülitiga *N*. Sisselülitamisel tekivad plaadi *P* ja elektroodide vahel ning elektroodidel kõrgema pingega impulsid, mille mõjul gaas ioniseerub. Seejärel torus olev elavhõbe aurustub ja tekib gaaslahendus. Argoonisisaldus torus soodustab gaaslahenduse puhkemist võrku lülitamise alghetkel, mil elavhõbedaauru rõhk torus on madala temperatuuri tõttu alles tühine.

Lambi tööolukord kujuneb 8 ... 15 minuti jooksul pärast võrku lülitamist — soojusliku püsiolukorra saavutamisel. Elavhõbe-kvartslampide tavalisel töötamisel kuumeneb lambi toru punase hõõgumiseni ja elavhõbedaauru rõhk lambis ulatub umbes 100 kN/m² (1 at). Kiirguse maksimum esineb sel juhul A-piirkonnas lainepikkusel 365 nm. Kunstlikul jahutamisel (näiteks ventilaatoriga) lambi vool tugevneb, pinge lambil alaneb ning alaneb ka toru temperatuur ja elavhõbedaauru rõhk torus, ultraviolettkiirguse maksimum aga nihkub kiirguse B-piirkonda lainepikkusele 253,7 nm.



Joon. 327. Lambi ПРК skeem



Joon. 328. Energia jaotus lambi ЭУВ spektris

Lambi taassüütamine on võimalik ainult pärast tema jahtumist, s. o. 5...10 minuti pärast. Elavhõbe-kvartslamp paigutatakse eriarmatuuri, mis kujutab endast poleeritud sisepinnaga künakujulist metallreflektorit. Lambil ПРК-2 on standardne armatuur ЛКТ (*лампа кварцевая терапевтическая* — terapeutiline kvartslamp). Armatuur tagab lambi tööks vajaliku normaalse soojusolukorra ja suunab kiirgusvoo kiiritatavale objektile.

Võrgupinge kõikumised mõjuvad lambi tööle. Pinge alanemisel 10% ja enam võib lamp mitte süttida. Lambi ПРК-2 iga on vähemalt 800 tundi.

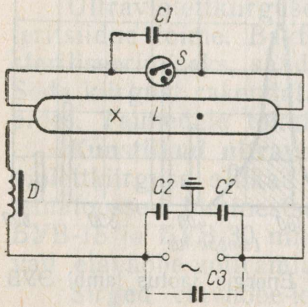
Erütematoos-luminestsentslambid ЭУВ tekitavad B-piirkonna kiirgust, millel on tugev erütematoosne ja antirahhiitiline toime. Lühilainekiirgus nende spektris puudub. Nad kujutavad endast isehõõguvate oksiidelektroodidega madalrõhu-gaaslahenduslampe. Nende lampide ehitus ja mõõtmed ühtivad valgustus-luminestsentslampidega. Nad erinevad viimastest ainult toru klaasisordi ja luminofoori koostise poolest. Erütematooslampide toru on valmistatud uvioolklaasist, mis laseb hästi läbi ultraviolettkiirgust lainepikkusega 280...380 nm ja peaaegu üldse ei lase läbi kiirgust lainepikkusega 253,7 nm. Erütematoosset ultraviolettkiirgust tekitab toru sisepinnale kantud õhuke luminofoorikiht — talliumiga aktiveeritud kaltsiumfosfaat, mida ergastab elavhõbeda aurus tekkiva gaaslahenduse poolt esilekutsutud lühilaineline ultraviolettkiirgus. Selline erütematooskiirguse tekitamise viis on kõige ökonoomsem.

Energia jaotus lambi ЭУВ spektris lambist ühe meetri kaugusel on kujutatud joonisel 328. Erütematooslampide lülitus, mille skeem on esitatud joonisel 239, on samasugune nagu valgustus-luminestsentslampidel.

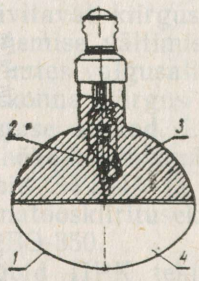
Starter *S* kujutab endast erilist neoonlampi, mis on määratud madalrõhu-gaaslahenduslambi süütamiseks. Lambi võrkulülitamise hetkel rakendub starterile täispinge, temas tekib huum- ja seejärel gaaslahendus, mis soojendab elektroode. Et üks elektrood on bimetallist, paindub ta soojenedes ja puutub kokku teise elektroodiga. Selle tagajärjel starter lühistub ja sildab lambi. Lambi elektroode läbib vool ja kuumutab neid. Samal ajal aga lahendus starteris lakkab, starteri elektroodid jahtuvad ja neist moodustatud kontakt avaneb. Kuumenenud elektroodidega lambile aga rakendub võrgupinge, millele liitub veel paispoolil *D* tekkinud pingeimpulss. Selle liitpinge mõjul tekib lambis gaaslahendus ja lamp süttib. Paispooli edasiseks ülesandeks on lampi läbiva voolu stabiliseerimine.

Lülitusse kuuluvad starterisse mahutatud ja tema kontaktidega rööbiti ühendatud kondensaator *C1* raadiohäirete kõrvaldamiseks ning kondensaatorid *C2* ja *C3* võimsusteguri parendamiseks.

Lampide künakujuline armatuur tehakse alumiiniumist või erivärviga kaetud plekist. Kõik lülituse osad kinnitatakse armatuuri külge.



Joon. 329. Lambi ЭУВ skeem: *L* — lamp; *D* — voolu piirav paispool; *S* — starter; C_1, C_2 ja C_3 — kondensaatorid



Joon. 330. Erütematooskiirituseks ja valgustuseks kasutatav elavhõbe-volframlamp РВЭ-350:

1 — uvioolklaasist kolb; *2* — volframkeermik; *3* — peegelpind; *4* — mattpind

Toodetakse ühe- ja kahelambilisi valgusteid. Võrgupinge kõikumised nimiväärtuse suhtes lühendavad lampide ЭУВ iga. Pinge alanemisel 10% võrra või enam võib lamp mitte süttida. Lambid ЭУВ on väga tundlikud ümbritseva keskkonna temperatuuri suhtes. Lambi soodsaim temperatuur on 18 . . . 15° C. Temperatuuri hälbimisel soodsaimast väärtusest lambi poolt tekitatav kiiritatus väheneb. Temperatuuril alla +5° C võib lamp mitte süttida. Seepärast on otstarbekas rakendada külmades loomapidamishoonetes erütematooslampide ja hõõglampide segalülitust. Hõõglambist kiirguv soojus loob erütematooslambile vajalikud temperatuuritingimused.

Bakteritsiidlambid БУВ levitavad põhiliselt lühilainelist C-piirkonna ultraviolettkiirgust, mis avaldab tugevat bakteritsiidset toimet. Ehituselt ja lülituse poolest sarnanevad nad erütematooslampidega, kuid on valmistatud teistsugusest uvioolklaasist. Toru seinad luminofooriga kaetud ei ole. Nende klaas laseb hästi läbi ultraviolettkiiri lainepikkusega 254 nm. Bakteritsiidlampide keskmine iga on 1500 tundi.

Erütematooskiirituseks ja valgustuseks kasutatavad elavhõbe-volframlambid РВЭ-350 kujutavad endast ühisesse lämmastiktäidisega kolbi mahutatud ülikõrgrõhu-elavhõbelambist ja hõõglambist koosnevat liitlampi (joon. 330). Hõõglambi hõõgniit, mis on ühendatud jadamisi elavhõbelambiga, on viimasele voolu piiravaks takistiks. Mattpinnaline kolb on valmistatud 0,7 mm paksusest uvioolklaasist. Kolvi seinte läbilasketegur kiirgusele lainepikkusega 280 nm on 20%, kiirgusele lainepikkusega 290 nm 42%, 300 nm — 63% ja 320 nm — 90%. Selle tõttu sisaldab lambi kiirgusvoog tunduvas osas B-piirkonna kiirgust, mis avaldab tugevat erütematoosset toimet.

Peale ultraviolettkiirguse tekitab see lamp ka valgus- ja soojusvoo, millel on põllumajanduslikus tootmises oluline tähtsus. Lambi sisepinna soklipoolne osa on kaetud peegeldava alumiiniumikihiga, mistõttu sellele lambile eraldi reflektorit pole vaja. Lambil РВЭ-350 on standardkeermega sokkel (koljatsokkel), mis keeratakse lambipessa nagu tavaline hõõglamp. Kasutamisel mingeid lisaseadiseid vaja ei ole. Lambi РВЭ-350 kiirgusvoog levib ruumi 180° nurga all.

Selle lambi puuduseks on tema suur võimsus ja ebaühtlane erütematooskiirguse jaotus kiiritataval pinnal. Need lambid on määratud vaheldUvvoolutoitele. Lambid taluvad pinge kõikumist mitte üle 10 . . . 15%. Lambi taassüütamine on võimalik ainult pärast tema täielikku jahtumist. Lambi iga on 300 . . . 500 tundi.

Käsitletud kunstlike ultraviolettkiirguse allikate põhiandmed on esitatud tabelis 44.

Tabel 44

Lambi tüüp	Võimsus W	Võrgupinge V	Pinge lambil V	Lambi vool A	Kiirgusvoog		
					nähtav lm	erütematoosne mer	bakteritsiidne µb
ПРК-2	375	220	120	3,75	8000	4750	10500
ПРК-4	220	127	70	3,7	4500	2800	6300
БУВ-15	15	127, 220	58	0,3	70	13	2000
БУВ-30	30	127, 220	110	0,32	150	30	4500
ЭУВ-15	15	127, 220	58	0,3	70	111	84
ЭУВ-30	30	220	108	0,32	150	250	160
РВЭ-350	350	220	220	1,6	4000	315	45

Ultraviolettkiirguse mõõtühikud. Ultraviolettkiirgused sisaldavad mitmesuguses pikkuses laineid, mis toimivad elusorganismidesse erisuguselt. Joonisel 331 on esitatud suhteline mitmesuguse ultraviolettkiirguse toime sõltuvalt lainepikkusest ja ultraviolettkiirguse bioloogilisest toimest elusorganismidesse. Kõver *1* kujutab suhtelist bakteritsiidset toimet. Suurimat bakteritsiidset toimet avaldab kiirgus lainepikkusega 254 nm. Ultraviolettkiirgusvoog lainepikkusel 254 nm ja võimsusega 1 W on võetud bakteritsiidkiirgusvoo ühikuks, mille nimetuseks on bakt (b). Sobivamaks osutub väiksem ühik mikrobakt (μb), mis võrdub 10^{-6} baktiga.

Et hinnata teistsuguse lainepikkusega ($\lambda \neq 254$ nm) ultraviolettkiirgusvoo Φ_λ bakteritsiidset toimet, tuleb ta korrutada suhtelise bakteritsiidse toime teguriga $k_{\lambda b}$:

$$\Phi_{\lambda b} = k_{\lambda b}\Phi_\lambda. \tag{486}$$

Kui allikas levitab mitut monokromaatilist kiirgusvoogu $\Phi_{\lambda 1}$, $\Phi_{\lambda 2}$ ... ... $\Phi_{\lambda n}$, leitakse bakteritsiidkiirgusvoog valemiga

$$\Phi_b = k_{\lambda b1}\Phi_{\lambda 1} + k_{\lambda b2}\Phi_{\lambda 2} + \ldots + k_{\lambda bn}\Phi_{\lambda n} = \Sigma\, k_{\lambda bi}\Phi_{\lambda i}$$

või valemiga

$$\Phi_b = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} k_{\lambda b}\Phi_\lambda \, d\lambda. \tag{487}$$

Bakteritsiidkiirgusvoo Φ_b tihedust kiiritatava keha pindala S kohta nimetatakse bakteritsiidseks kiiritatuseks E_b, mille ühikuks on b/m^2 või μb/m^2:

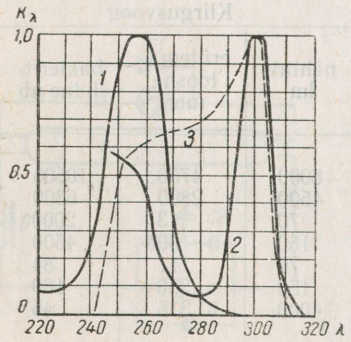
$$E_b = \frac{d\Phi_b}{dS}. \tag{488}$$

Kui on teada monokromaatilised ultraviolettkiirguse kiiritatused, siis leitakse bakteritsiidne kiiritatus valemiga

$$E_b = \Sigma\, k_{\lambda bi}E_{\lambda i}. \tag{489}$$

Et ultraviolettkiirguse bakteritsiidne toime sõltub mitte üksnes kiiritatuse E_b väärtusest, vaid ka kiirituskestusest, on võetud kasutusele mõiste bakteritsiidne kiiritushulk A_b, mis leitakse bakteritsiidse kiiritatuse E_b ja kiirituskestuse t korrutisena:

$$A_b = E_b t. \tag{490}$$



Joon. 331. Ultraviolettkiirguse suhteline toime:
1 — suhteline bakteritsiidne toime; *2* — suhteline erütematoosne toime; *3* — suhteline antirahhiitiline toime

Selle mõõtühikuks on b · s/m^2. Bakteritsiidset kiiritatust mõõdetakse baktmeetriga.

Kõver *2* (joon. 331) kujutab suhtelist erütematoosset toimet. Suuremat erütematoosset toimet avaldab kiirgus lainepikkusega 297 nm. Erütematooskiirgusvoo ühikuks on er, mis arvuliselt võrdub ultraviolettkiirguse erütematooskiirgusvooga, mille lainepikkus

on 297 nm ja võimsus 1 W. Tegelikult osutub sobivamaks 1000 korda väiksem ühik millier: 1 mer = 10^{-3} er.

Kiirgusallika erütematoosne ultraviolettkiirgusvoog Φ_e arvutatakse valemiga

$$\Phi_e = \Sigma\, k_{\lambda ei}\Phi_{\lambda i}, \tag{491}$$

kus $k_{\lambda ei}$ on selle monokromaatilise ultraviolettkiirgusvoo suhteline erütematoosse toime tegur, mille lainepikkuse λ üldistatud järjenumber on i.

Erütematooskiirgusvoo Φ_e tihedust kiiritatava keha pindala S kohta nimetatakse erütematooskiiritatuseks E_e, mille ühikuks on er/m²:

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS}. \tag{492}$$

Kui on teada monokromaatilised ultraviolettkiirguse kiiritatused $E_{\lambda 1}, E_{\lambda 2}, \ldots E_{\lambda n}$, leitakse erütematooskiiritatus valemiga

$$E_e = \Sigma\, k_{\lambda ei}E_{\lambda i}. \tag{493}$$

Erütematoosne kiiritushulk A_e leitakse erütematooskiiritatuse E_e ja kiirituskestuse t korrutisena:

$$A_e = E_e t. \tag{494}$$

Ühikuks on er · s/m² või mer · s/m² (er · h/m² või mer · h/m²). Erütematooskiiritatust mõõdetakse ermeetriga.

Kõver *3* (joon. 331) kujutab ligikaudselt suhtelist antirahhiitilist toimet, mida iseloomustab tegur $k_{\lambda a}$. Suurimat antirahhiitilist toimet avaldab kiirgus lainepikkusega 297 nm. Antirahhiitilise kiirgusvoo ühikuks on antirahhiitiline vatt, mida tähistatakse W(a) ja mis arvuliselt on võrdne ultraviolettkiirguse antirahhiitilise kiirgusvooga, mille lainepikkus on 297 nm ja võimsus 1 W. Kiirgusallika antirahhiitilise kiirgusvoo Φ_a võib arvutada valemiga

$$\Phi_a = \Sigma\, k_{\lambda ai}\Phi_{\lambda i}, \tag{495}$$

kus $k_{\lambda ai}$ on monokromaatilise ultraviolettkiirgusvoo suhtelise antirahhiitilise toime tegur, mille lainepikkuse λ üldistatud järjenumber on i.

Antirahhiitilise kiirgusvoo Φ_a tihedust kiiritatava keha pindala S kohta nimetatakse antirahhiitiliseks kiiritatuseks E_a, mille ühikuks on W(a)/m²:

$$E_a = \frac{d\Phi_a}{dS}. \tag{496}$$

Kui on teada monokromaatilised ultraviolettkiirguse kiiritatused $E_{\lambda 1}, E_{\lambda 2}, \ldots E_{\lambda n}$, leitakse antirahhiitiline kiiritatus valemiga

$$E_a = \Sigma\, k_{\lambda ai}E_{\lambda i}. \tag{497}$$

Antirahhiitiline kiiritushulk A_a leitakse antirahhiitilise kiiritatuse E_a ja kiirituskestuse t korrutisena:

$$A_a = E_a t. \tag{498}$$

Ühikuks on W(a) · s/m².[1]

[1] Seda võib väljendada ka J(a)/m². *Tõlk.*

Tabel 45

Loom või lind	Kiiritushulk ööpäevas	
	er · s/m²*	mer · h/m²
Lehm	648	180
Kuni 10 päeva vanune vasikas	144	40
Mullikas	360	100
Emis	648	180
Imikpõrsas	108	30
Nuumsiga	432	120
Kana põrandakanalas pidamisel	288	80
Tibu võõrasema all pidamisel	36 ... 288	10 ... 80**

Tabel 46

Lambi tüüp \ Lambi ripe looma seljast	Mitmesuguste allikate erütematooskiiritatus mer/m²			
	1	1,5	2	2,5
ПРК-2	720	319	180	114
ПРК-4	420	186	105	67
ЭУВ-15	20	8,9	5	3,2
ЭУВ-30	42	18,6	10,6	6,7
РВЭ-350	41	18,2	10,3	6,5

Kiirituse määr on leitav katseliselt. Eri loomade ja lindude soovitatav kiirituse määr lampidega ЭУВ kiiritamisel on esitatud tabelis 45.

Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) katsetega on kindlaks tehtud, et kõige tõhusamaid tulemusi nuumsigade kiiritamisel lampidega ПРК saavutatakse siis, kui lambid riputatakse sea seljast 1 m kõrgusele ja valitakse kiirituskestuseks 10 ... 12 minutit päevas.

Ultraviolettkiirguse allikate iseloomustus erütematooskiiritatuse järgi on esitatud tabelis 46.

Loomi tuleb kiiritamisega harjutada pikkamööda: esimese viie päeva jooksul antakse neljandik vajalikust kiiritushulgast, seejärel pool ja lõpuks täisannus.

Põllumajandusloomade ja -lindude ultraviolettkiirgusega kiiritamise tõhusus. Üleliiduline Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituut (ВИЭСХ), NSVL TA Biofüüsika Instituut ja Veterinaaria Akadeemia korraldasid Moskva ja mitme teise oblasti kolhoosides ja sovhoosides katseid põllumajandusloomade ja -lindude kiiritamise alal lampidega ПРК-2, ЭУВ-30 ja РВЭ-350. Tulemused näitasid, et võrreldes kontrollloomadega suurenes kiiritatud põrsaste iive 21 ... 24%, vasikatel 18 ... 25%. Kiiritatud lehmade piimaand suurenes 10 ... 12%, kanade mune-

* Võib väljendada ka J/m². *Tõlk.*

** Kui kiirituskestust päev-päevalt suurendatakse.

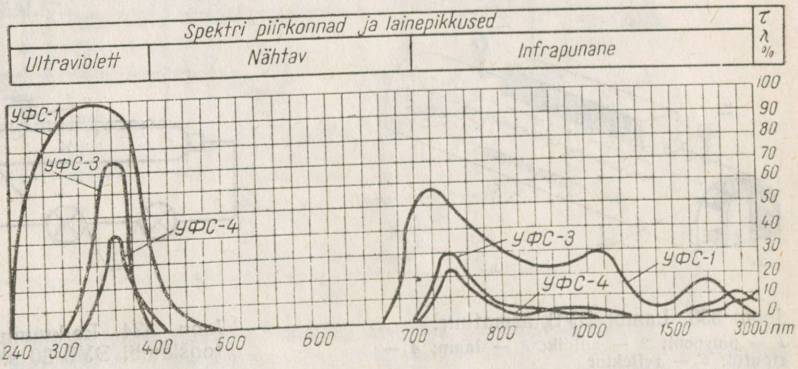
Tabel 47

Toiduaine	Kiiritatava toiduaine värvus		Kõlbmatu toiduaine iseloomustus
	kõlblik	kõlbmatu	
Vasikaliha	Tumepunane	Heleroosad täpid	Liha on nakatunud solkmete tõukudest
Kala (latikas, pikša, sevrjuuga, koha, tursk)	Tuhm rohekassinine	Oranžid piirkonnad ja lõõmavpunased laigud	Riknenud kala
Kanamunad	Punane	Helesinine	Säilitatud üle kahe nädala
Nisuterad	Roheline	Kollane	Niiskuse tõttu riknenud
Rukki- ja nisujahu	Sinakas	Violetne	Tungalterade sisaldusega
Kartulilõik	Helekollane või hallikaspruun	Mustad laigud ümbritseva helesinise koega	Tugev mädanikuseene kahjustus
Sibulalõik	Violetne, kahvatusinakas põhi	Kollakasvalge	Hallmädanikukahjustus
Sidruni viljad	Kollakas	Kollakas, tume- või helesiniste täppidega	Helesinise hallituse kahjustus

vus 20 ... 25%. Ühtlasi ilmnes ultraviolettkiirguse üldine tervistav toime, mis vähendas noorloomade lõppemist.

Kiiritamine on tunduvalt odavam vitamiinidega turgutamisest. Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) arvutused tõendavad, et linnuvabrikus on ühesuguste tulemuste korral kiiritamise aastamaksumus 6 ... 10 korda väiksem kui kulutused D-vitamiini hankimiseks. Kiiritamise korral peavad loomad saama täisväärtuslikku sööta, muidu hakkab nende mass vähenema.

A-piirkonna kiirgust rakendatakse põllumajandus- ja mõnede muude saaduste luminestsentsanalüüsil. Selle analüüsimismeetodi rakendamisel kiiritatakse uuritavat toiduainet pimedas kambris nähtamatu A-piirkonna ultraviolettkiirgusega. Kiirguse toimel hakkab toiduaine helendama mitmesuguses heleduses ja teatud spektraalkoostisega nähtavat valgust, s. o. kindla värvusega alates punasest kuni violetseni, mille järgi määrataksegi kindlaks toiduaine seisukord. Mõningate toiduainete helenduse värvused on esitatud tabelis 47.



Joon. 332. Valgusfiltrite läbilasketegurite spektraalkõverad

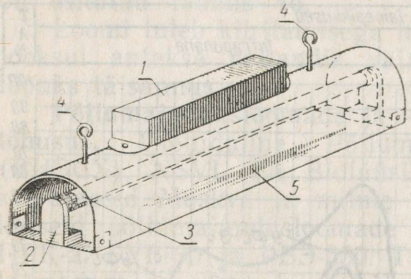
Lihtsaim aparaat luminestsentsanalüüsi tegemiseks koosneb lambist — ultraviolettkiirguse allikast, mis on paigutatud väikesesse plekist või vineerist kesta, millena võib kasutada ka lambi ПРК enda armatuuri. A-piirkonna eraldamiseks ultraviolettkiirguse allika spektrist kasutatakse valgusfiltrit, millega kaetakse aken. Valgusfiltrite läbilasketeguri spektraalkõverad on esitatud joonisel 332. Valgusfilter asetatakse mitte lähemale kui 200 mm lambist ПРК-2 ja 50 mm lambist ЭУВ-15. Uuritav aine või saadus asetatakse musta värvusega alusele. Analüüs tehakse pimendatud ruumis. Massilisel analüüsil nihutatakse sorditavat toiduainet konveieriga.

B-piirkonna ultraviolettkiirgust rakendatakse põllumajandusloomade ja -lindude kiiritamiseks talvel, mil loomulikku ultraviolettkiirgust on ebapiisavalt. Kiirituse mõjul suureneb loomade ja lindude toodang, noorloomad ja -linnud (põrsad, vasikad, tibud jt.) aga kasvavad kiiremini, säästetakse D-vitamiini, mida ultraviolettkiirguse ebapiisavuse korral tuleks söödale lisada. Kiirituse määr lampidega kiiritamisel on esitatud tabelis 45. Lambi ЭУВ armatuur on kujutatud joonisel 333. Künakujulises plekist valmistatud ja alumiiniumvärviga kaetud reflektoris olevate hoidikute vahele kinnitatakse lamp. Mõnedesse reflektoritesse saab asetada ka kaks lampi. Komplekti kuuluv paispool paigutatakse reflektori peale. Kogu seadis kinnitatakse riputite kaudu põrandast vähemalt 2,5 m kõrgusele. Lampide soodsaim töötemperatuur on 18...25° C. Ruumi madala temperatuuri korral asetatakse reflektori alla hõõglamp, mille soojuskiirgus soodustab lambi ЭУВ püsikindlat põlemist.

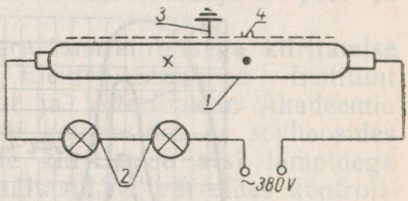
Üleliidulises Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudis (ВИЭСХ) on loodud seadis lindlate üheaegseks lisavalgustuseks ja kiirituseks. Selles seadises (joon. 334) on lamp ЭУВ-30 ühendatud võrku pingele 380 V jadamisi kahe hõõglambiga, kumbki 40 W, 127 V. Süttimise hõlbustamiseks kinnitatakse lambile metallriba *4*, mis ühendatakse maanduriga *3*.

Üleliidulises Põllumajandusliku Masinaehituse Instituudis (ВИСХОМ) ja Üleliidulises Valgustehnika Teadusliku Uurimise Instituudis (ВНИСИ) on loodud erütematooskiiriti ЭО-1-30 põllumajandusloomade ja -lindude üheaegseks ultraviolettkiirituseks ja lisavalgustuseks (joon. 335 ja 336). Kiiritus on kaks lampi: erütematoos-luminestsentslamp *2* ja hõõglamp *4*. Erütematoos-luminestsentslamp ЭУВ-30 (võimsus 30 W) on ultraviolettkiirguse allikaks. Hõõglamp (võimsus 40 W) on valgusallikaks ja ühtlasi erütematooslambi voolu piiravaks takistiks. Kiiriti kere *1* külge on kinnitatud erütematooslambi hoidikud *3*, hõõglambipesa *5* ja kuumutustrafo *6*, mis tagab kiiriti töö toitevõrgu pinge alanemisel.

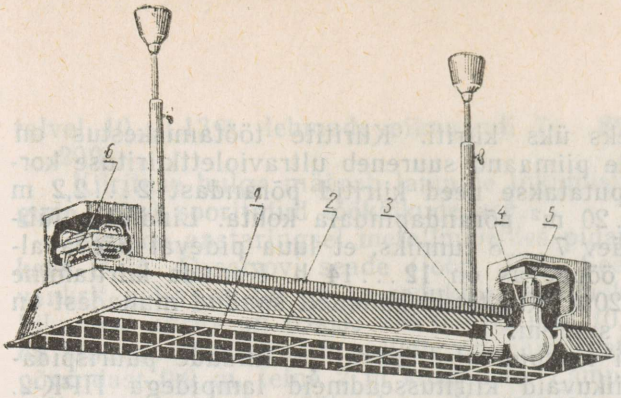
Laudas riputatakse kiiriti lehma seljast 1...1,2 m kõrgusele, nii



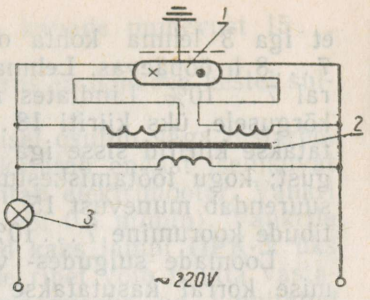
Joon. 333. Lambi ЭУВ armatuur:
1 — paispool; *2* — hoidik; *3* — lamp; *4* — riputid; *5* — reflektor



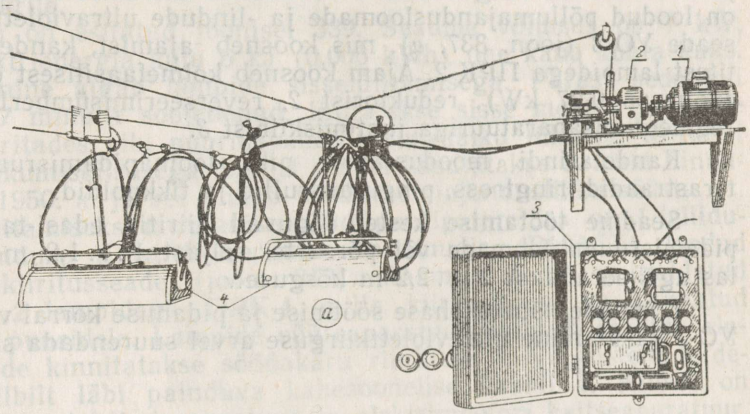
Joon. 334. Eelkuumutuseta erütematooslambi ЭУВ-30 skeem:
1 — erütematooslamp; *2* — hõõglamp; *3* — maandur; *4* — metallriba

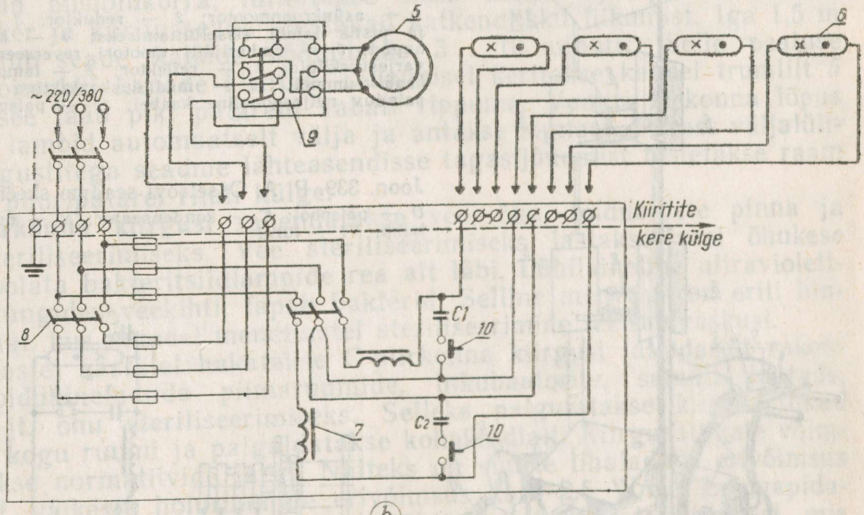


Joon. 335. Kiiriti ЭО-1-30:
1 — kere; *2* — erütematoos-luminestsentslamp; *3* — lambihoidik; *4* — hõõglamp; *5* — hõõglambi pesa; *6* — kuumutustrafo



Joon. 336. Kiiriti ЭО-1-30 elektrilülituse põhimõtteskeem:
1 — erütematoos-luminestsentslamp; *2* — erütematooslambi hõõgniitide kuumutustrafo; *3* — hõõglamp





Joon. 337. Trossile riputatud mehhaniseeritud kiiritusseade УО-3:
a — üldvaade, *b* — elektriskeem; *1* — elektrimootor; *2* — reduktor; *3* — juhtimiskilp; *4* — kiiriti; *5* — elektrimootor; *6* — lamp ПРК-2; *7* — paispool; *8* — lüliti; *9* — ümberlüliti; *10* — käivitusnupp

et iga 3 lehma kohta oleks üks kiiriti. Kiiritite töötamiskestus on 7...8 h ööpäevas. Lehmade piimaand suureneb ultraviolettkiirituse korral 7...10%. Lindlates riputatakse need kiiritid põrandast 2...2,2 m kõrgusele, üks kiiriti 18...20 m² põrandapindala kohta. Lindlates lülitatakse kiiritid sisse iga päev 7...8 tunniks, et luua pidevat päevavalgust; kogu töötamiskestus ööpäevas on 12...14 h. Kanade kiiritamine suurendab munevust 15...20%. Kiiritatud kanadelt saadud munadest on tibude koorumine 7...10% suurem.

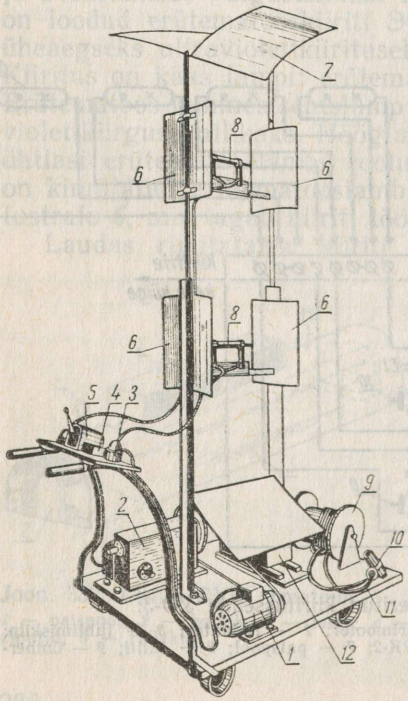
Loomade sulgudes- või lõaspidamise korral ja lindude puurispidamise korral kasutatakse liikuvaid kiiritusseadmeid lampidega ПРК-2. Põrsaste kiiritamiseks riputatakse lambid sulguderea keskkohta pinguldatud kandetrossidele. Lambid liiguvad sulgude kohal kiirusega 0,005 m/s (0,3 m/min).

Üleliidulises Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudis (ВИЭСХ) ja Üleliidulises Valgustehnika Teadusliku Uurimise Instituudis (ВНИСИ) on loodud põllumajandusloomade ja -lindude ultraviolettkiirituseks liikuv seade УО-3 (joon. 337, *a*), mis koosneb ajamist, kandetarindist ja kiirititest lampidega ПРК-2. Ajam koosneb kolmefaasilisest elektrimootorist *1* (võimsus 0,27 kW), reduktorist *2*, reverseerimisümberlüliti ja käivitusreguleerimisaparatuuriga juhtimiskilbist *3*.

Kandetarindi moodustavad piki loomapidamisruumi pinguldatud terastraadid, ringtross, pinguldusrullid ja tikkpoldid.

Seadme töötamise kestel liiguvad kiiritid edasi-tagasi piki loomapidamisruumi lehmade või põrsaste seljast 1...1,2 m kõrgusel, kanalas aga põrandast 2...2,2 m kõrgusel.

Loomade nõuetekohase söötmise ja pidamise korral võimaldab seadme УО-3 kasutamine ultraviolettkiirguse arvel suurendada sigade iivet sügis-

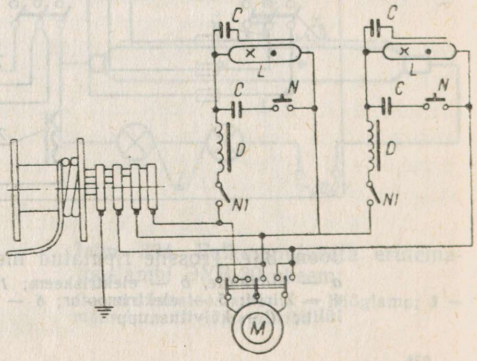


Joon. 338. P. A. Ossetrovi seade kanade kiiritamiseks puurispidamisel:

1 — asünkroonmootor; *2* — reduktor; *3* — pistikupesa ja pistik lambi sisselülitamiseks; *4* — lampide süütenupud; *5* — ümberlüliti mootori reverseerimiseks; *6* — varjestuskilbid; *7* — reflektor; *8* — lamp ПРК-2; *9* — kaablitrummel; *10* — maanduskontaktiga pistik; *11* — painduv neljasooneline kaabel; *12* — paispool

Joon. 339. P. A. Ossetrovi seadme skeem:

D — paispool; *C* — kondensaator; *N* — nupplüliti; *L* — lamp; *N1* — lüliti



talvel 10...13%, lehmade piimaandi 7...8%, kanade munevust 15... ...20%.

Kiirituse hulga määrab lampide liikumiskiirus ja ööpäeva kestel sulgude kohal sooritatud töökäikude arv.

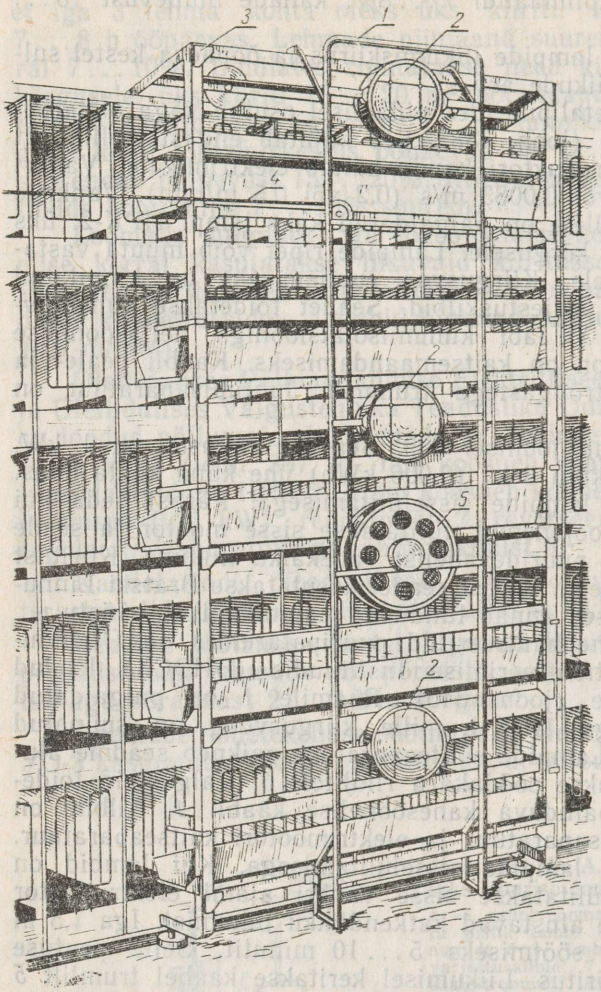
Kanade aastaringsel metallpuurides pidamisel osutub väga otstarbekaks P. A. Ossetrovi seade (joon. 338). See kujutab endast iseliikuvat vankrit neljal rattal, mida reduktori kaudu käitab elektrimootor. Vankri liikumise kiirus on 0,0033 või 0,0083 m/s (0,2 või 0,5 m/min). Vankrile on kinnitatud püstraam, millele on paigaldatud kaks lampi ПРК-2: üks põrandast 0,9 m, teine 2 m kõrgusele. Lampide ripet võib muuta vastavalt puuripatarei mõõtmetele. Kiirgusvoo suunamiseks on kinnitatud raami külge reflektorid ja varjestuskilbid. Seadet toidetakse vahelduvvooluvõrgust pingega 220 V läbi kummiisolatsiooniga neljasoonelise painduva kaabli. Neljas soon on kaitsemaandamiseks. Kaabli peale- ja mahakerimiseks on kontaktrõngastega trummel. Juhtimisaparatuur on paigaldatud vankrile.

Elektriskeem on esitatud joonisel 339. Seadme võimsus on 1 kW, mass 50 kg, elektrienergia kulu 6 kJ (0,006 kWh) ühe kana kohta kuus. Seadme käivitamine algab lampide sisselülitamisega. Pärast seda kui lambid on 5...7 minutit soojenenud, lülitatakse sisse mootor ja seade hakkab kanu kiiritades piki puuridevahelist vahekäiku liikuma. Kiiritust reguleeritakse liikumiskiirusega. Sellist seadet kasutatakse Bratski Linnuvabrikus alates 1950. a. ja see annab tunduvat majanduslikku säästu.

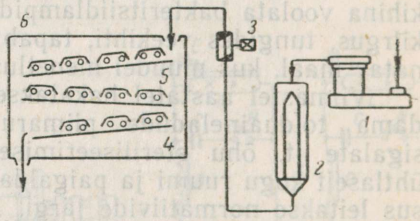
Kanade kiiritamiseks mehhaniseeritud puuripatareides on Üleliidulises Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudis (ВИЭСХ) loodud teisaldatav rippkiiritusseade (joon. 340). Raamile *1* on paigaldatud kolm valgustit *2* lampidega ПРК-4, mille kiirgusvoog on suunatud vastaspoolsetele puuridele. Lampide süüteaparatuur paikneb seadme alumises osas. Seade kinnitatakse söödakäru riiulitele *3*. Valgusteid toidetakse juhtimiskilbilt läbi painduva kahesoonelise kaabli *4*. Kilbile on paigaldatud seadme juhtimisaparatuur ja elektrimootori kaitseaparatuur. Seadme käivitamine algab lampide sisselülitamisega. Kui lambid on saavutanud püsiolukorra, lülitatakse sisse vankri ajami elektrimootor ning vanker ja kiiritusseade alustavad katkendlikku liikumist. Iga 1,5 m järel peatub seade kanade söötmiseks 5...10 minutit. Selle peatuse jooksul toimubki kanade kiiritus. Liikumisel keritakse kaabel trumlilt *5* lahti ja see jääb piki patareid vabalt rippuma. Vankri teekonna lõpus lülituvad lambid automaatselt välja ja antakse signaal. Pärast väljalülitatud valgustitega seadme lähteasendisse tagasijõudmist tõstetakse raam järgmise puuripatarei riiuli külge.

C-piirkonna kiirgusi rakendatakse vee, õhu, toiduainete pinna ja nõude steriliseerimiseks. Vee steriliseerimiseks lastakse vesi õhukese kihina voolata bakteritsiidlampide rea alt läbi. Lühilaineline ultravioletkiirgus, tungides veekihti, tapab bakterid. Selline menetlus on eriti hinnatav maal, kus muudel menetlustel steriliseerimine tekitab raskusi.

Viimastel aastatel hakatakse C-piirkonna kiirgusi laialdaselt rakendama toiduaineladude piimaruumide, inkubaatorite, samuti lautade, sigalate jt. õhu steriliseerimiseks. Selleks paigutatakse kiirgusallikad ühtlaselt kogu ruumi ja paigaldatakse kohakindlalt. Kiirgusallikate võimsus leitakse normatiivide järgi. Näiteks on suurte lihaladude erivõimsus 0,3 W/m³, väikeste hoiuruumide erivõimsus kuni 2,5 W/m³. Loomapidamisruumide suhtes võib ligikaudselt lähtuda katselistest normidest, mis on kehtestatud haiglate, operatsiooniruumide ja lasteasutuste kohta ning mille järgi eeldatakse, et kiiritatus 5 b/m² (0,5 μb/cm²) iga päev kaheksatunnise ja 1 b/m² (0,1 μb/cm²) ööpäevase ruumisviibimise korral inimese



Joon. 340. Teisaldatav rippkiiritusseade munakanade kiiritamiseks mehhaniseeritud puuripatareides



Joon. 341. Kopitanud teravilja ultravioletkiirgusega töötlemise seadme skeem:

1 — pesemismasin; *2* — kuivati; *3* — kopptõstuk; *4* — sõelad; *5* — bakteritsiidlambid; *6* — kiirituskamber

organismile kahjulikku toimet ei avalda. Kiiritatavale õhule aga avaldab selline kiiritatus steriliseerivat toimet. Tuleb ainult vältida sellise kiirguse sattumist otseselt inimese silma, sest see põhjustaks silma sidekesta põletikku.

Bakteritsiidset ultraviolettkiirgust rakendatakse ka pikaajalise säilitamise või laevaga vedamise tagajärjel kopitanud teravilja töötlemiseks (joon. 341). Enne töötlemist teravili pestakse ja kuivatatakse ning toimetatakse siis kopptõstukiga kiirituskambrisse, kus teda kiiritatakse sõeltel bakteritsiidlampidega. Pärast töötlemist tuleb kambrist väljunud teravilja lühikest aega laagerdada, loomasöödaks aga võib teda kohe tarvitada.

Bakteritsiidlampe võib kasutada ka piimanõude ja piima steriliseerimiseks.

Bakteritsiidseadmete kasutamisel tuleb täita ohutustehnika eeskirju. Paljaid kehaosi ei tohi pikka aega kiiritada. Ruumi tuleb järjekindlalt õhustada. Vajaduse korral kaitstakse silmi tumedate või paksust tavalisest klaasist prillidega.

§ 4. Infrapunakiirguse rakendamine

Infrapunakiirguseks nimetatakse kiirgust lainepikkusega 760 ... ... 75 000 nm. Mõnikord nimetatakse seda ka soojuskiirguseks, kuna ta kutsub esile kiiritatavate kehade soojenemise. Seejuures on soojuse edasikandmise kiirus võrdne valguskiirusega. Infrapunakiired levivad sirgjooneliselt, murduvad ja tungivad sügavale eluskudedesse.

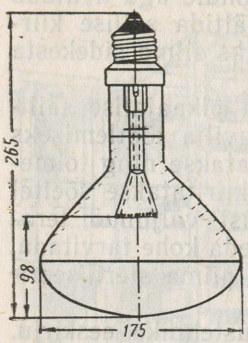
Kiirguse tungimise tõttu kudede sügavusse soojeneb mitte üksnes kiiritatav pind, vaid ka kogu pinnakiht kiirguse sissetungimise sügavuses 0,1 ... 2 mm. Toorel kartulil on sissetungimissügavus 6 mm, leival 7 mm, kvartsliival 5 mm. Infrapunakiirguse rakendamisel kulgeb kuivatamine suurema kiirusega kui konvektsioonkuivatusel. Infrapunakiirgust tekitavad aatomite ja molekulide väliselektronid molekulide pöörd- ja võnkliikumise tagajärjel.

Tekke poolest jaguneb infrapunakiirgus kolme piirkonda. *Lühilaineline* infrapunakiirgus hõlmab piirkonna 760 ... 2500 nm ja tekib aatomite väliselektronide kõrgemalt energiatasemelt madalamale siirdumise tagajärjel. Kiirguse atomaarspekter on joonspekter. *Kesklaineline* infrapunakiirgus hõlmab piirkonna 2500 ... 25 000 nm ja tekib osa molekulide võnkumisolukorra muutumisel. *Pikalaineline* infrapunakiirgus hõlmab piirkonna 25 000 ... 75 000 nm ja tekib molekulide pöörlemise iseloomu muutumisel.

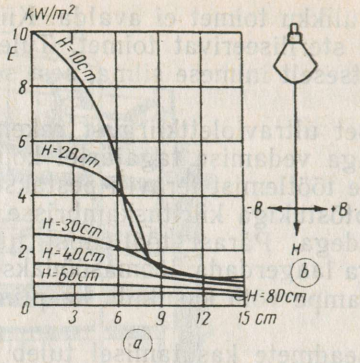
Kõige täiuslikumalt on uuritud ja leidnud rakendust infrapunakiirgus lainepikkusega 760 ... 15 000 nm. Infrapunakiirgus lainepikkusega üle 15 000 nm neeldub peaaegu täielikult õhus sisalduvas veeaurus.

Infrapunakiirguse rakendusalasid on väga mitmesuguseid. Põllumajanduslikus tootmises rakendatakse neid kiirgusi peamiselt noorloomade ja -lindude soojendamiseks, loomade ravimiseks, leemendava ekseemi kuivatamiseks, loomapidamisruumide steriliseerimiseks, kottide desinfitseerimiseks, piima pastöriseerimiseks, põllumajandussaaduste (teravilja, köögivilja, aedvilja, seente, pähklite) kuivatamiseks, masinaosade kiireks kuumutamiseks enne värvimist, tinatamiseks, jootmiseks või masinaosade ühendamiseks kuum-istuga. Laialdaselt rakendatakse infrapunakiirgust meditsiinis, peamiselt soojutuseks.

Infrapunakiirguse allikad. Võimsaks looduslikuks infrapunakiirguse allikaks on Päike. Päikesespekter on rikas infrapunakiirgusest, mis on eriti tugev lainepikkuste piirkonnas 760 ... 5000 nm. Nende arvele langeb põhiline osa Päikese soojusenergiast.



Joon. 342. Infrapunakiirgust tekitav soojuskiirguslamp



Joon. 343. Kiiritatus 250-W soojuskiirguslambi paistel:
a — kiiritatuse graafik; *b* — mõõtude skeem

Infrapunakiirguse allikaiks on elektrihõõglambid, nii harilikud kui ka erilambid — soojuskiirguslambid, mitmesugused gaaslahenduslambid, kõrgrõhu- ja ülikõrgrõhu-elavhõbelambid, erilised haruldastest metallidest tihvtkiirgurid ja kattega Aueri põleti, elektripliitide ja -ahjude nikroomkeermikud, mis on kuumutatud temperatuurini 600 ... 700° C.

Tavaline elektrihõõglamp muundab kuni 86% temale antavast energiast infrapunakiirguseks. Ea pikendamiseks lülitatakse nad madalamale pingele (10 ... 15%). Hõõglampe rakendatakse tibude soojendamise ja kanadele vee soojendamise seadmetes.

Käsitsemiseks palju mugavamad on aga infrapunakiirgust tekitavad erilambid — soojuskiirguslambid (joon. 342). Soojuskiirguslambi niidi hõõgumistemperatuur (2000 ... 2500 K) on madalam kui harilikel hõõglampidel, mistõttu nad kiirgavad vähem nähtavat valgust ja rohkem infrapunakiirgust. Kolvi ülemise paraboloidse osa sisepind kaetakse kiirgusvoo suunamiseks peegeldava kihiga. Kiiritatuse sõltuvus rippest *H* ja kaugusest *B* (250-W lambi püstteljest) on esitatud joonisel 343.

Lampe toodetakse pingele 127 ja 220 V, võimsusega 250 ja 500 W, sokliga E-40. Neid kasutatakse keskkonna temperatuuril kuni 70° C. Seadmetes paigutatakse lambid selliselt, et soklile ega kolvi peegelosale ei mõjuks kõrge temperatuur ja et kuumale kolvile ei tilguks vett. Soojuskiirguslambi iga on 2000 ... 10 000 h.

Soojuskiirguslampe ei tohi kasutada ruumides, mille õhus on põlevat auru või gaasi. Neid kasutatakse laialdaselt lakk- ja värvkatte kuivatamiseks.

Infrapunakiirguse allikateks sobivad hästi nikroomist, fekraalist või tavalisest terastraadist keermikud, mis kinnitatakse tulekindlale alusele, näiteks asbesttsementtorule. Kiirgusvoo suunamiseks valmistatakse erilisel elektrokeemilisel menetlusel töödeldud pinnaga alumiiniumplekist reflektoreid. Alumiiniumi puudumisel võib need valmistada ka valgest plekist. Tabelis 48 on esitatud mitmesuguste materjalide peegeldustegurid (Bajevi järgi).

Tabelis 49 on esitatud suhteline kiirgusvootihedus [1] 100 mm kaugusel keermikküttekehast sõltuvalt reflektori kujust.

---

[1] Kiirgusvootiheduse ühik on W/m²[cal/(cm² · s)]. Tabelis pole aga ühikuid märgitud, sest ilma küttekeha andmeteta ja mõõtmeteta ei ole need hinnatavad. *Tõlk.*

Tabel 48

Pinna materjal	Peegeldus-tegur
Erimenetlusel töödeldud alumiinium	0,98
Poleeritud alumiinium	0,86
Kroomitud pind	0,72
Nikeldatud pind	0,72
Valge plekk	0,65
Poleeritud teras	0,54

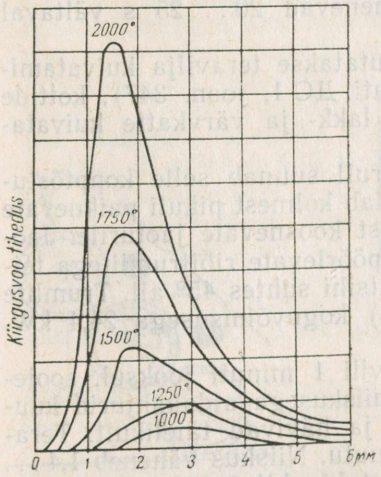
Tabel 49

Reflektori kuju	Kiirgus-voo-tihedus	Reflektori kuju	Kiirgus-voo-tihedus
Paraboolne	10	Silindriline	7
Hüperboolne	8	Tasane	4
		Reflektorita	3

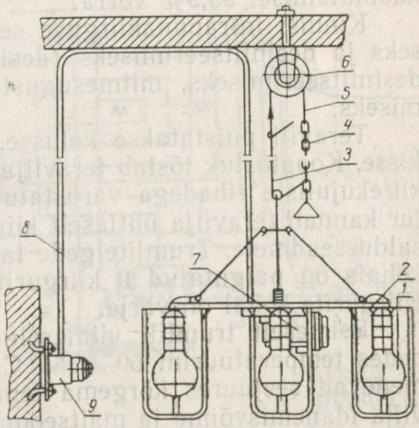
Nagu tabelist nähtub, peegeldab kiirgust kõige paremini paraboolne reflektor. Sellise kiirguri spektris on energiajaotus ligilähedane energiajaotusele absoluutselt musta keha spektris (joon. 344).

Infrapunakiirguse seadmed on otstarbest ja tootmise iseärasustest sõltuvalt lahtised või kinnised (kamber-tüüpi), paiksed või teisaldatavad. Lahtisi seadmeid kasutatakse kuivatamiseks, imikpõrsaste soojendamiseks, samuti tibude soojendamiseks pärast munast koorumist (joon. 345).

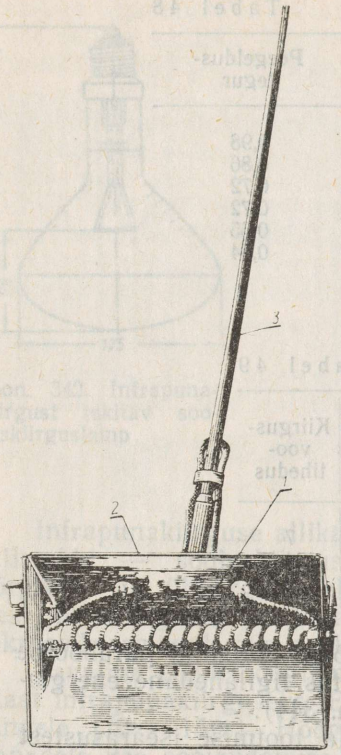
Masinaosade või lakiga immutatud elektritoodete kiireks kuivatamiseks remonditöökodades kasutatakse teisaldatavaid seadmeid. Need kuju-



Joon. 344. Absoluutselt musta keha kiirguse spektraalkoostis



Joon. 345. Soojendi БИ-500:
1 — lamp ЗС-3; *2* — soojendi kere; *3* — riputi; *4* — kett; *5* — tross; *6* — plokk; *7* — soojusrelee; *8* — kaabel; *9* — lülitikilp



Joon. 346. Elektrodesinsektor ЭД-2

tavad endast kilpi (või sõrestikku), millele on ridamisi paigaldatud kuivatuslambid.

Lahtisi seadmeid on hõlpsam käsitseda, kuid nende puuduseks on suurem elektrienergia kulu. Nii kulub tibu soojendamisele lahtise soojendiga 4,7 MJ (1,3 kWh) kuus, rihmavarjukujuliste võõrasemadega soojendamisel aga 2,4 MJ (0,67 kWh) ja patareisoojendite puhul 1,4 MJ (0,4 kWh) kuus.

Loomapidamisruumide põrandate ja seinte steriliseerimiseks infrapunakiirgusega on olemas elektrodesinsektor ЭД-2 (autor V. V. Tarassov, joon. 346). Elektrodesinsektor koosneb küttekehast *1*, reflektorist *2*, käepidemest *3* ja juhtmetest.

Küttekehaks on tulekindlale silindrile keritud ja reflektorisse paigutatud nikroomkeermik. Keermiku hõõgumistemperatuur on 700 ... 800° C. Esimesel mudelil oli küttekeha tarbimisvõimsus 2,2 kW, teisel aga 3,6 kW.

Püramiidjas reflektor on tehtud alumiiniumplekist ja võis esimesel mudelil katta seina pindalast 200 × 300 mm², teisel mudelil aga 200 × 500 mm².

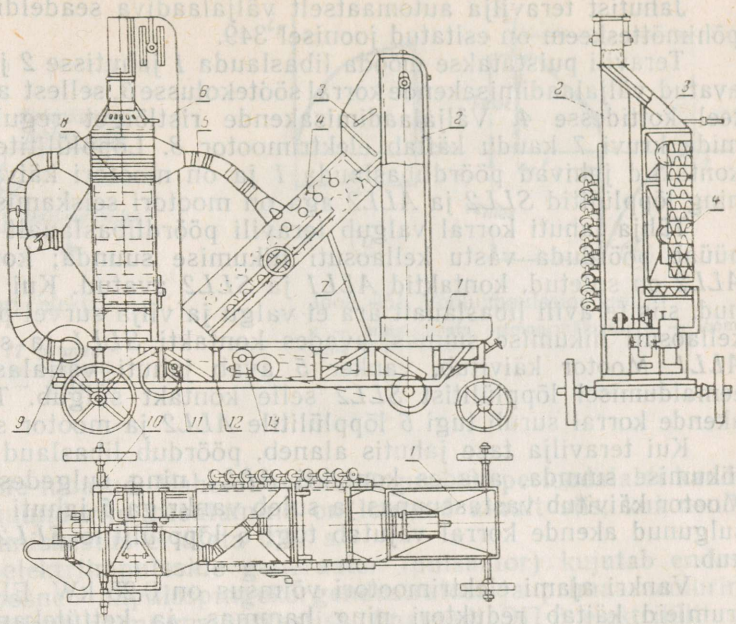
Reflektori külge on kinnitatud 1,5 m pikkune torust käepide, milles paiknevad juhtmed. Aparaadi mass on 3 kg.

Pinna katmisel sisselülitatud aparaadiga moodustub selle all kinnine ruum, mille temperatuur on kuumutuskestusest ja niiskusest sõltuvalt 100 ... 300° C. Kümnesekundise kuumutuse jooksul hävib soolekepike täielikult. Eoseline mikrofloora ja hallitus vähenevad 20 ... 25 s vältaval kuumutamisel 99,9% võrra.

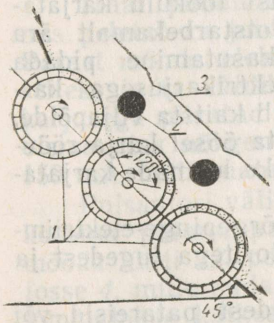
Kinnisi infrapunakiirguse seadmeid kasutatakse teravilja kuivatamiseks ja desinfitseerimiseks (desinsektorkuivati ДС-1, joon. 347), kottide desinfitseerimiseks, mitmesuguste masinate lakk- ja värvkatte kuivatamiseks.

Teravili puistatakse kolusse, kust sööterull suunab selle kopptõstukisse. Kopptõstuk tõstab teravilja üles ja heidab kolmest pikuti paiknevate kiirekujuliste ribadega varustatud kaldpinnast koosnevale jaoturile. Jaotur kannab teravilja ühtlaselt kiirituskambri pöörlevate ribitrumlitega teisaldusseadmele. Trumlitelgede tasand on rõhtsihi suhtes 45° all. Trumlite kohale on paigutatud 9 kiirgurit (joon. 348) koguvõimsusega 24,4 kW. Kiirgurite kohal on varje.

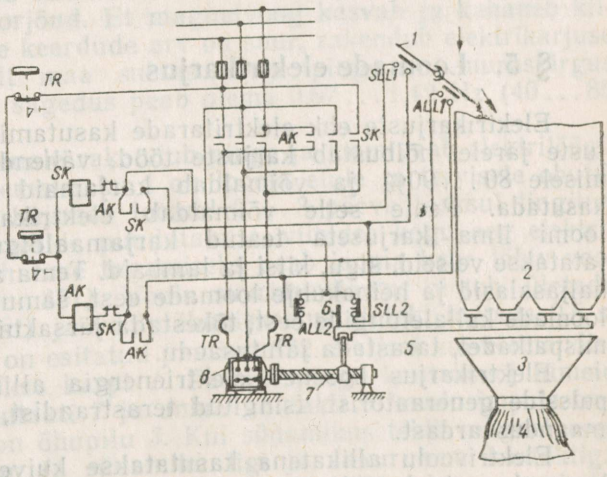
Esimeselt trumlilt viimasele liigub teravili 1 minuti jooksul, soojenedes temperatuurini 50 ... 55° C. Suurema niiskusega aidakahjurid kuumenevad seejuures kõrgema temperatuurini ja hävivad täielikult. Teravilja idanemisvõime ja maitseomadused ei muutu. Niiskus väheneb 1,4 ... 3,5%-le. Seejärel suunatakse teravili kopptõstuki abil šahtjahutisse jahtuma. Ventilaator imeb õhku kuivatuskambrist ja jahutist välja. Õhuvool kõrvaldab jahutist ja desinfektsioonikambrist tolmu ja hukkunud viljakahjurid. Jahutist laaditakse teravili automaatselt kottidesse.



Joon. 347. Teravilja desinsektorkuivati ДС-1:
1 — sõõtekolu; *2* — kopptõstuk; *3* — teraviljajaotur; *4* — kiirituskamber; *5* — õhutoru; *6* — kopptõstuk; *7* — kiirituskambri tugi; *8* — jahuti; *9* — ventilaator; *10* — alusvanker; *11* — elektrimootor; *12* — raam; *13* — reduktor



Joon. 348. Kiirituskambri skemaatiline ehitus:
1 — ribitrumlid; *2* — kiirgutid; *3* — varje



Joon. 349. Desinsektorkuivati jahutuskambrist teravilja automaatselt väljalaadiva seadeldise põhimõtteskeem

Jahutist teravilja automaatselt väljalaadiva seadeldise elektrilülituse põhimõtteskeem on esitatud joonisel 349.

Teravili puistatakse mööda libaslauda *1* jahutisse *2* ja suundub jahuti avatud väljalaadimisakende korral söötekolusse *3*, sellest aga juba isevoolu teel kottidesse *4*. Väljalaadimisakende ristlõiget reguleerib vanker *5*, mida kruvi *7* kaudu käitab elektrimootor *8*. Lõpplülitite *SLL1* ja *ALL1* kontaktid juhivad pöördlibaslauda *1* ja on mootori käivitamiseks, tugi *6* ning lõpplülitid *SLL2* ja *ALL2* aga on mootori seiskamiseks.

Tühja jahuti korral valgub teravili pöördlibaslaualt ära ja libaslaud püüab pöörduda vastu kellaosuti liikumise suunda; kontaktid *SLL1* ja *ALL2* on suletud, kontaktid *ALL1* ja *SLL2* avatud. Kui jahutid on täitunud, siis teravili libaslaualt ära ei valgu ja vilja survel pöördub libaslaud kellaosuti liikumise suunas, avades kontakti *SLL1* ja sulgedes kontakti *ALL1*. Mootor käivitub, vanker *5* avab jahuti väljalaskeaknad. Toe *6* eemaldumisel lõpplülitist *SLL2* selle kontakt sulgub. Täielikult avatud akende korral surub tugi *6* lõpplülitile *ALL2* ja mootor seiskub.

Kui teravilja tase jahutis alaneb, pöördub libaslaud vastu kellaosuti liikumise suunda, avades kontakti *ALL1* ning sulgedes kontakti *SLL1*. Mootor käivitub vastassuunas ja suleb vankriga *5* jahuti aknad. Täielikult sulgunud akende korral vajutab tugi *6* lõpplülitile *SLL2* ja mootor seiskub.

Vankri ajami elektrimootori võimsus on 0,25 kW. Elevaatorit ja ribitrumleid käitab reduktori ning hammas- ja kettülekande kaudu 1-kW elektrimootor. Ventilaatorit käitab 0,25-kW elektrimootor.

Kottide desinfitseerimiseks on Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi (ВИЭСХ) Zaporožje filiaalis loodud teisaldatav elektridesinsektor (autor P. S. Vorobjov). Kotid riputatakse lõputu keti konksudele. Kett liigub siksakilist teed mööda infrapunakiirguse kiirgurite vahel. Kotid kiirituvad 70 s vältel ja kuumenevad kuni 100° C. Koti koes peituvad putukad hävivad. Küttekehad on valmistatud 18 m pikkusest nikroomtraadist ristlõikega 0,9 mm^2. Kottide desinsektori tarbimisvõimsus on 12,6 kW, sealhulgas 18 küttekeha võimsus 12 kW.

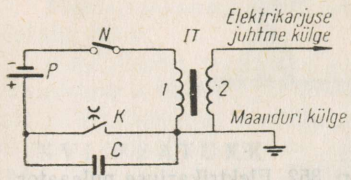
Seadet teenindavad 2 töölist: üks riputab kotte, teine korjab neid ära. Tunnitootlikkus on 600 ... 700 kotti. Elektrienergia kulu on ligikaudu 3,6 MJ (1 kWh) viie koti kohta.

§ 5. Loomade elektrikarjus

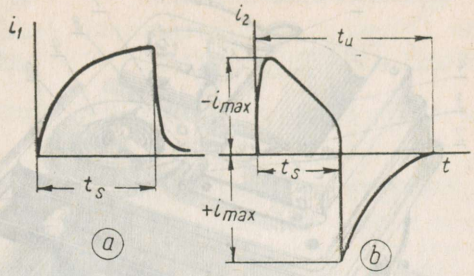
Elektrikarjuste ehk elektritarade kasutamine vähendab vajadust karjuste järele, hõlbustab karjuste tööd, vähendab üldist töökulu karjatamisele 80 ... 90% ja võimaldab karjamaid palju otstarbekamalt ära kasutada. Peale selle võimaldab elektrikarjuse kasutamine pidada loomi ilma karjuseta teatud karjamaalõigul. Elektrikarjusega karjatatakse veiseid, sigu, kitsi ja lambaid. Tema abil saab kaitsta viljapõlde, haljasalasid ja heinakuhje loomade eest, samuti kaitsta öösel karja röövloomade kallaletungide eest, tõkestada järsakuid ja auke loomade karjatamispaikadel, tarastada jalutusaedu.

Elektrikarjus koosneb elektrienergia allikast, kõrgepinge-elektriimpulsside generaatorist, tsingitud terastraadist, isolaatoritega tugedest ja maandusvardast.

Elektrivoolu allikatena kasutatakse kuivelementidest patareisid või happeakumulaatoreid pingega 6 V ja mahutavusega 540 kC (150 A · h). Sellise toiteallika töötamise kestus on 900 ... 1400 h. Vahelduvvooluvõrgust pingemadaldustrafo kaudu toituvate vibromuundurite kasutamine



Joon. 350. Pulsaatori elektriskeem;
1 ja *2* — impulsstrafo *IT* primaar- ja sekundaarmähis; *K* — katkesti, *C* — kondensaator, *P* — patarei, *N* — lüliti



Joon. 351. Vooluimpulsside kuju:
a — impulsstrafo primaarmähises; *b* — looma keha läbiv vool

toiteallikana ei ole lubatud. Vahelduvvooluvõrgust täisperioodalaldi kaudu toituvate vibromuundurite kasutamine on lubatud ainult siis, kui nende kontaktide sulgumiskestus ei ületa 0,01 s.

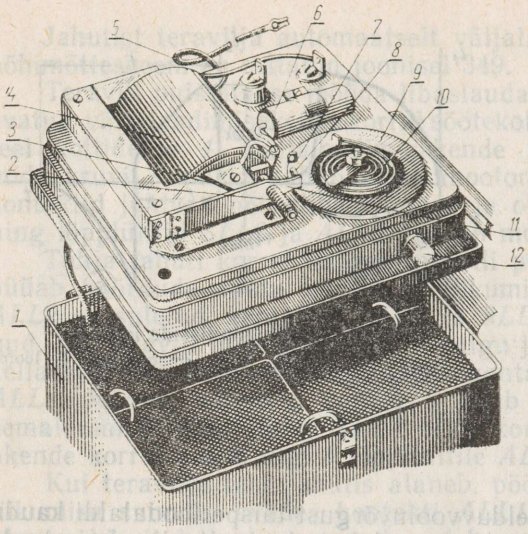
Kõrgepinge-elektriimpulsside generaator (pulsaator) kujutab endast aparaati, mis koosneb impulsspingekõrgendustrafost ja primaarvooluringis olevast pendel-tüüpi magnetkatkestist. Aparaadi ЭП-3 elektrilülituse põhimõtteskeem on esitatud joonisel 350.

Lüliti *N* sisselülitamisel kujuneb suletud vooluring: patarei miinusklemm, lüliti *N*, impulsstrafo primaarmähis *1*, katkesti *K* kontakt, patarei plussklemm. Primaarmähist läbiv vool kasvab eksponentkõvera järgi ja tekitab trafo südamikus magnetvoo. Südamikus on õhupilu ja selle kohal katkesti ankur. Osa magnetvoost läbib ankru ja tõmbab selle südamiku ligi. Ankru kontakt vajutab pendelketta kontaktile ja tõukab selle endast eemale. Vooluring katkeb ning vool ja magnetvoog lakkavad. Vedru toimel pöördub pendel lähteasendisse tagasi ning pendelketta ja ankru kontakt puutuvad taas kokku.

Kui magnetvoog muutub südamikus nullist maksimumini ja maksimumist nullini, indutseeritakse sekundaarmähises *2* algul ühe-, seejärel aga teisesuunaline elektromotoorjõud. Et magnetvoog kasvab ja kahaneb kiiresti ning sekundaarmähise keerdude arv on suur, rakendub elektrikarjuse taratraatidele perioodiliselt maa suhtes kõrge pinge — suurusjärgus 9000 ... 12 000 V. Pulsside sagedus peab olema 0,67 ... 1,42 Hz (40 ... 85 pulssi minutis).

Traati puudutanud loomale rakendub pinge ja loom saab elektrilöögi, mis peletab ta juhtmest eemale, kuid on looma elule ja tervisele ohutu. Pärast mõnda elektrilööki kujuneb loomal 2 ... 3 päeva jooksul tingitud refleks ja ta väldib taratraatide puudutamist, viibides kogu aeg elektrikarjusega piiratud alal. Ohutuse tagamiseks peab looma keha läbiv vool olema ajas nõrgenev (joon. 351). Voolu suurim väärtus ei tohi ületada 150 mA (sõltumata märgist) ja vooluläbimiskestus ei tohi ületada 0,5 s.

Pulsaatori välisvaade on esitatud joonisel 352. Neljast kuivelemendist koosnev patarei paigutatakse karpi *1*. Patarei pinge kantakse juhtmeid mööda lüliti *12*, pendli kontakti *7* ja ankru kontakti *8* kaudu impulsstrafosse *4*, mille südamikus on õhupilu *3*. Kui südamikus tekib magnetvoog, tõmmatakse katkesti ankur *11* südamiku ligi ja ankur oma kontaktiga tõukab eemale pendelketta *9* kontakti *7*. Kontakti *8* löögi leevendamiseks vastu kontakti *7* on ankrul vedru *10*. Kondensaator *6* on sädelemise ja kontaktide kõrve vähendamiseks. Impulsside sageduse reguleerimiseks



Joon. 352. Elektrikarjuse pulsaator

muudetakse ankru vedru pingust. Kõrgepingeimpulsside ülekandmiseks elektrikarjuse taratraatidesse on ühendusjuhe *5*.

ЭП-3 komplekti kuulub 1200 m tsingitud terastraati (läbimõõt 1,2 ... 1,5 mm.) Traat kinnitatakse siksakiliste isolaatorite kaudu 1,3 m pikkustele teisaldatavatele tugedele. Sellist tüüpi isolaatorite puhul võib traadi paigaldada ilma sidemeteta. Taratraatide arv *K*, nende ripe maapinnast *H* ja tugede vahekaugus *L* on esitatud tabelis 50.

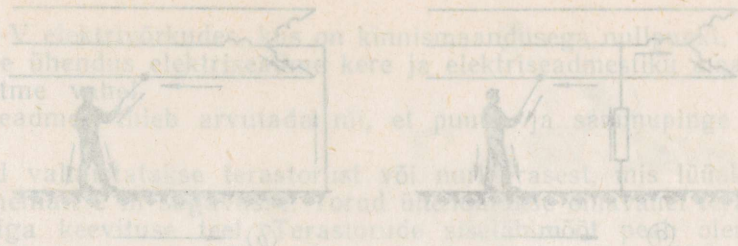
Elektrikarjuse komplekti kuuluvad veel nurgatoed, maandav nurgatugi, väravapostid, vahetoed, 20 m pikkusest traadist väravad koos pinguldusvedrude ja isoleeritud käepidemetega, isolaatorid traadi riputamiseks, pingeindikaator, isolaatorite kott, hoiatusplakatid.

Elektrikarjuseid ei tohi paigaldada kõrgepingeliinidele lähemale kui 10 m, kusjuures tara ei tohi olla kõrgem kui 1 m. Tee lähedusse paigaldatud elektrikarjuse taratraatidele tuleb riputada hoiatusplakatid.

Et taratraadid ei tohi kokku puutuda mingite taimedega, raiutakse tara kohalt põõsad ja puud maha, hein aga niidetakse ära.

Tabel 50

Looma liik	*K*	*H* m	*L* m
Veised	1	0,85	15 ... 20
Vasikad	1	0,65	15 ... 20
Sead	2	0,25; 0,60	10 ... 15
Põrsad	2	0,25; 0,50	10 ... 15
Kaitse metssigade eest	2	0,25; 0,45	10 ... 15
Hobused	2	0,80; 1,00	10 ... 15
Lambad	2	0,30; 0,45 ... 0,60	10 ... 15
Kitsed	3	0,25; 0,50; 0,80	15 ... 20
Küülikud	3	0,30; 0,70; 1,20	10 ... 15



XVI PEATÜKK

PÕLLUMAJANDUSLIKE ELEKTRISEADMETE OHUTUSTEHNIKA

§ 1. Üldmõisted

Elektriseadmete kasutamisel peab olema tagatud nii elektriseadmetega otseselt kokkupuutuvate teenindavate isikute kui ka nendega kaudselt kokku puutuda võivate inimeste ohutus.

Elektrivool võib põhjustada raskeid (mõningatel juhtudel ka surmaga lõppevaid) õnnetusi. Elektrikahjustuse peamised põhjused on: elektriseadmete voolujuhtivate osade puudutamine või neile lubamatu lähenemine, isolatsiooni vigastuse tõttu pingestunud seadmete metallosade puudutamine, ohutustehnika eeskirjadest mittekinnipidamine elektriseadmete kasutamisel.

Inimkeha läbiv vool sõltub eelkõige rakendatud pingest ja keha takistusest, kusjuures viimane ei ole jääv suurus, vaid sõltub väga mitmetest asjaoludest.

Kõige suuremat takistust elektrivoolule avaldab inimkeha välimine nahakate, ent sõltuvalt naha seisukorrast (kuiv või märg, kaetud juhtivate või isoleerivate ainetega) võib takistus muutuda mõnesajast tuhandest kuni mõne oomini. Tiheda naha korral on takistus suur, lahtiste haavade korral aga väheneb takistus tuhandeid kordi. Inimkeha sisetakistus on väike, sest koed ja veresooned osutuvad headeks juhtideks, avaldades elektrivoolule tühist takistust.

Kuni viimase ajani arvati, et vool tugevusega 0,01 A on inimelule ohutu. Viimase aja uuringud on aga tõendanud, et teatud olukordades on inimesi kahjustanud ka nõrgemad voolud. Võrdselt ohtlikud on nii alalis- kui ka vahelduvvool sagedusega 50 Hz. Mõningat ohtlikkuse vähenemist täheldatakse vahelduvvoolul sagedusega üle 2500 Hz.

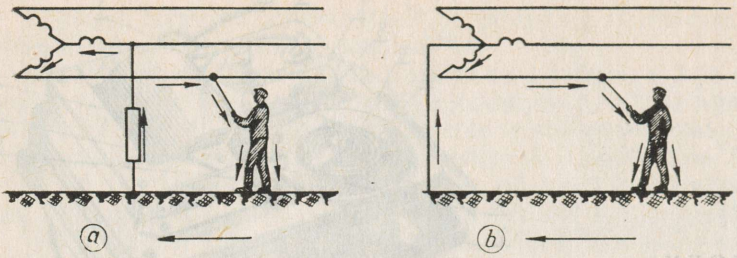
Et raskeimad kahjustused ilmnevad sel juhul, kui voolurada läbib südant või hingamisteid, osutub kõige ohtlikumaks vooluallika eri pooluste või faaside puudutamine mõlema käega. Elektrikahjustusel on olulise tähtsusega aeg, mille vältel inimene voolu toime all viibib.

Pingestatud osade puudutamine võib toimuda ühe- või kahepooluseliselt.

Joonisel 353,*a* on kujutatud isoleeritud nullpunktiga, joonisel 353,*b* aga maandatud nullpunktiga kolmefaasilise võrgu ühepooluseline puudutamine.

Isoleeritud nullpunktiga seadmetes on inimkeha liinipingele lülitatud vooluringi koostisosaks, kusjuures inimkeha takistusega on ühendatud jadamisi isolatsiooni takistus. Kui see takistus läheneb piirväärtusena nullile, satub inimene liinipinge alla.

Maandatud nullpunktiga seadmete ühepooluselisel puudutamisel satub inimkeha $\sqrt{3}$ korda madalama pinge alla kui isoleeritud nullpunktiga kol-



Joon. 353. Ühepooluseline kolmefaasilise võrgu puudutamine:
a — isoleeritud nullpunktiga võrgu puhul; *b* — maandatud nullpunktiga võrgu puhul

mefaasilise võrgu juhtme puudutamisel. Ent sel juhul pole juhtmete isolatsiooni takistus inimkehaga jadamisi ühendatud. Niisiis parendab nullpunkti maandamine ühepooluselisel voolu juhtivate osade puudutamisel esinevaid ohutustingimusi sel juhul, kui võrgu isolatsioon on halb, halvendab aga ohutustingimusi sel juhul, kui võrgu ja seadme isolatsioon on korras.

Kõige ohtlikumaks osutub kahepooluseline puudutamine, sest sel juhul määrab inimkeha läbiva voolu keha takistus, mis võib suurtes piirides kõikuda.

Elektriseadmete kasutamisel esineb õnnetusjuhtumeid sageli selle tõttu, et tavaliselt pingestamata metallosad pingestuvad elektriseadme mingi osa isolatsiooni rikke tõttu või mõnel muul põhjusel.

Seda ohtu tuleb eriti arvestada, sest selliseid juhtumeid, mil inimene juhuslikult pingestunud metallosi puudutab, esineb kõige sagedamini.

§ 2. Maandamine

Õnnetusjuhtumite vältimiseks elektriseadmete kasutamisel on «Elektriseadmete ehituse eeskirjadega», «Elektriseadmete tehnilise ekspluatatsiooni eeskirjadega» ja «Elektriseadmete ohutu teenindamise eeskirjadega» kehtestatud teatud nõuded, mida kõrvalekaldumatult täita tuleb.

Pingestatud voolujuhtivad osad peavad olema tõkestatud ja maandatud. Maanduse takistus peab olema väiksem inimkeha takistusest. Sel juhul läbib suurem osa elektrivoolust maandust, mitte aga inimkeha.

Eristatakse töö- ja kaitsemaandust.

Töömaandus tehakse teatud asjaoludel (pinge kõrgenemisel jms.) tekkiva ohu vältimiseks. Töömaanduste hulka kuuluvad kõrgepingemähiste nullpunkti maandus, lahendite maandus ja liinide maandamine, millel tagasijuhtmeks on maa.

Kaitsemaandus on elektriseadmetes tavaliselt pingestamata, kuid isolatsiooni vigastumisel pingestuda võivate metallosade ühendus maaga, mis tagab ohutuse nende osade puudutamisel.

Maanduri takistus peab üle 100-kVA võimsusega generaatorite ja trafode nullpunkti külgeühendamiseks pingel 380/220 V olema mitte üle 4 Ω, võimsusel 100 kVA ja vähem — mitte üle 10 Ω. Elektriseadmete ehituse eeskirjade järgi peavad elektrimasinate ja trafode kered, valgustusarmatuurid, elektriaparaatide ajamid, mõõtetrafode sekundaarmähised, jaotuskilpide raamistik, juhtimiskilbid, jaotuskilbid ja -kapid olema ühendatud maanduriga.

Kuni 1000-V elektrivõrkudes, kus on kinnismaandusega nullpunkt, on nõutud metalne ühendus elektriseadme kere ja elektriseadmestiku maandatud nulljuhtme vahel.

Maandusseadmed tuleb arvutada nii, et puute- ja sammupinge ei ületaks 40 V.

Maandurid valmistatakse terastorust või nurkterasest, mis lüüakse pinnasesse vähemalt 2 m sügavusse. Torud ühendatakse omavahel teraslati või -lindiga keevituse teel. Terastorude siseläbimõõt peab olema 50 mm, teraslati paksus aga vähemalt 4 mm. Seadme osad tuleb ühendada maanduriga keevituse teel või usaldatavate poltliidetega. Korduvalt (mitte harvem kui üks kord aastas) on vaja maanduri seisukorda kontrollida.

Elektriseadmeid teenindavaid isikuid kaitsevad individuaalsed kaitsevahendid, mis jagunevad põhi- ja lisakaitsevahenditeks.

Põhikaitsevahenditeks on isoleertangid, isoleerkepid ja pingeindikaatorid.

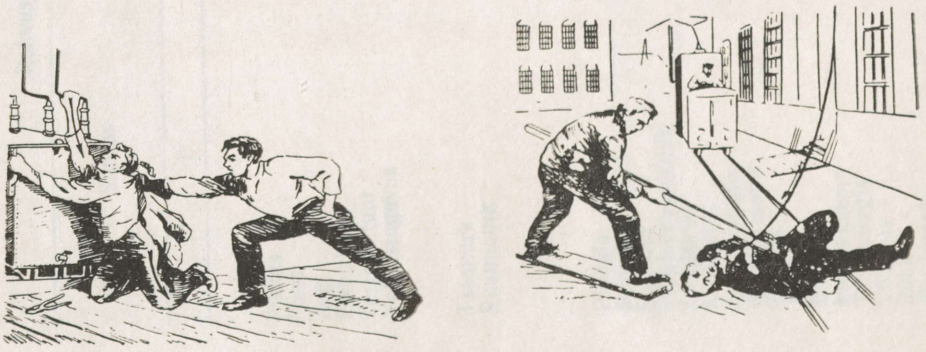
Lisakaitsevahenditeks on dielektrilised kummilabakud ja -sõrmikud, dielektrilised kummikalossid ning -botikud, kummimatid ja -vaibad, isoleeralused ning isoleerpidemega montööri tööriistad.

Põhi- ja lisakaitsevahendeid tuleb korduvalt kontrollida. Kaitsevahendite kontrollimise ja korduva järelevaatuse tulemused kantakse eripäevikusse, kuhu märgitakse ka kontrollimise kuupäev ja kontrollinud isikute nimed.

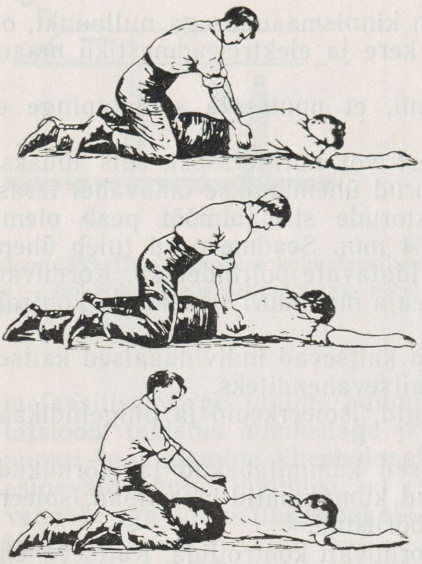
§ 3. Esmaabi elektrivoolust kahjustatule

Esmaabi elektrivoolust kahjustatule seisneb tema viivitamatus vabastamises voolu toime alt. Selleks on vaja elektrivõrk viivitamatult välja lülitada. Kui see ei ole võimalik, vabastatakse kahjustatu voolust isoleervahendite abil (kuiv kepp, kalts, laud, nöör; joon. 354). Vabastada tuleb nii, et kahjustatu ei saaks vigastada. Seejärel tuleb asetada kahjustatu lamama ja kutsuda arst. Kui kahjustatul puuduvad elutunnused, tuleb kunstlikku hingamist hakata tegema juba enne arsti kohalejõudmist.

Kunstliku hingamise tegemiseks pööratakse kahjustatul selg ülespoole ja asetatakse ta pea käele. Nägu pööratakse kõrvale ja asetatakse midagi näol alla. Kahjustatu teine käsi sirutatakse üle pea ettepoole (joon. 355). Kui võimalik, tõmmatakse keel välja, kuid seda pole tarvis kinni hoida. Abistaja laskub kahjustatu kohale põlvedele, näoga kahjus-



Joon. 354. Mitmesuguseid võtteid kannatanu voolu alt vabastamiseks



Joon. 355. Kunstliku hingamise võtted

tatu pea poole, nii et kahjustatu puusad jäävad abistaja põlvede vahele. Peopesad asetatakse kahjustatu seljale alumiste roiete kohale, mis haaratakse külgede poolt kokkusurutud sõrmede vahele.

Loendades «üks, kaks, kolm», kallutab abistaja oma keha pikkamisi ettepoole, nii et tema keha raskus langeb väljasirutatud kätele, ja surub kahjustatu alumistele roietele (väljahingamine). Käsi kahjustatu seljalt eemaldamata tõuseb abistaja algasendisse (sissehingamine). Loendades «neli, viis, kuus», langetab ta uuesti oma keha väljasirutatud kätele jne.

Kunstliku hingamise tegemisel ei tohi lasta kahjustatul jahtuda: mitte jätta teda niiskele maale, kivi-, betoon-, või teraspõrandale; asetada talle midagi soojustavat alla. Katta ta kinni ja asetada tema kere ja jalgade vastu soojaveepudelid. Teha seda kõike väga kiiresti ja mitte katkestada kunstliku hingamise tegemist.

Lisa 1

Rahvusvahelise SI süsteemi põhi-, täiendavad ja kasutatavamad tuletatud mõõtühikud

Suurus	Mõõtühik	Mõõtühiku tähis		Ühiku mõõt
		vene tähtedega	ladina või kreeka tähtedega	
1	2	3	4	5
		Põhiühikud		
Pikkus	meeter	*м*	m	
Mass	kilogramm	*кг*	kg	
Aeg	sekund	*сек*	s	
Elektrivool	amper	*а*	A	
Temperatuur	kelvin	*К*	K	
Valgustugevus	kandela	*св*	cd	
		Täiendavad ühikud		
Tasanurk	radiaan	*рад*	rad	
Ruuminurk	steradiaan	*стер*	sr	
		Tuletatud ühikud		
		Mehaanika ühikud		
Pindala	ruutmeeter	$м^2$	m^2	(1 m) · (1 m)
Ruumala, maht	kuupmeeter	$м^3$	m^3	(1 m) · (1 m) · (1 m)
Sagedus	herts	*гц*	Hz	1 : (1 s)
Pöörlemissagedus	pööre sekundis	$сек^{-1}$, *об/сек*	s^{-1}, p/s	1 : (1 s)
Joonkiirus	meeter sekundis	*м/сек*	m/s	(1 m) : (1 s)
Nurkkiirus	radiaan sekundis	*рад/сек*	rad/s	(1 rad) : (1 s)
Joonkiirendus	meeter sekundi ruudu kohta	$м/сек^2$	m/s^2	(1 m) : ($1 s^2$)
Nurkkiirendus	radiaan sekundi ruudu kohta	$рад/сек^2$	rad/s^2	(1 rad) : ($1 s^2$)
Tihedus	kilogramm kuupmeetri kohta	$кг/м^3$	kg/m^3	(1 kg) : ($1 m^3$)
Jõud	njuuton	*н*	N	(1 kg) · (1 m) : ($1 s^2$)
Erikaal	njuuton kuupmeetri kohta	$н/м^3$	N/m^3	(1 N) : ($1 m^3$)
Inertsmoment	kilogramm-ruutmeeter	$кг \cdot м^3$	$kg \cdot m^2$	(1 kg) · ($1 m^2$)
Töö, energia	džaul	*дж*	J	(1 N) · (1 m)
Võimsus	vatt	*вт*	W	(1 J) : (1 s)
Rõhk	njuuton ruutmeetri kohta	$н/м^2$	N/m^2	(1 N) : ($1 m^2$)
Jõu impulss	njuuton-sekund	$н \cdot сек$	$N \cdot c$	(1 N) · (1 s)
Liikumishulk	kilogramm-meeter sekundi kohta	$кг \cdot м/сек$	kg · m/s	(1 kg) · (1 m) : (1 s)

1	2	3	4	5
		Soojusühikud		
Soojushulk	džaul	*дж*	J	(1 N) · (1 m)
Süsteemi soojusmahutavus	džaul kelvini kohta	*дж/K*	J/K	(1 J) : (1 K)
Massi erisoojus	džaul kilogramm-kelvini kohta	*дж/кг · K*	J/(kg · K)	(1 J) : [(1 kg) · (1 K)]
Mahu erisoojus	džaul kuupmeeter-kelvini kohta	*дж/(м³ · K)*	J/(m³ · K)	(1 J) : [(1 m³) · (1 K)]
Soojusvoog, soojuslik võimsus	vatt	*вт*	W	(1 J) : (1 s)
Soojusvoo pindtihedus	vatt ruutmeetri kohta	*вт/м²*	W/m²	(1 W) : (1 m²)
Soojusülekande- ehk soojussiirdetegur ja soojusläbikandetegur	vatt ruutmeeter-kelvini kohta	*вт/(м² · K)*	W/(m² · K)	(1 W) : [(1 m²) · (1 K)]
Soojuslik erijuhtivus	vatt meeter-kelvini kohta	*вт/(м · K)*	W/(m · K)	(1 W) : [(1 m) · (1 K)]
Kiirgustegur	džaul ruutmeetri ja kelvini neljanda astme kohta	*дж/(м² · K⁴)*	J/(m² · K⁴)	(1 J) : [(1 m²) · (1 K⁴)]
		Elektri- ja magnetismiühikud		
Töö, energia	džaul	*дж*	J	(1 N) · (1 m)
Tegevvõimsus	vatt	*вт*	W	(1 J) : (1 s)
Näivvõimsus	volt-amper	*ва*	V · A	(1 V) · (1 A)
Ebavõimsus	var	*вар*	var	(1 V) · (1 A)
Elektrilaeng, -hulk	kulon	*K*	C	(1 A) · (1 s)
Voolutihedus	amper ruutmeetri kohta	*а/м²*	A/m²	(1 A) : (1 m²)
Nihkevoog	kulon	*K*	C	(1 A) · (1 s)
Elektrinihe	kulon ruutmeetri kohta	*K/м²*	C/m²	(1 C) : (1 m²)
Potentsiaalivahe, pinge	volt	*в*	V	(1 W) : (1 A)
Elektriväljatugevus	volt meetri kohta	*в/м*	V/m	(1 V) : (1 m)
Takistus	oom	*ом*	Ω	(1 V) : (1 A)
Eritakistus	oom-meeter	*ом · м*	Ω · m	(1 Ω) · (1 m)
Juhtivus	siimens	*см*	S	(1 A) : (1 V)
Erijuhtivus	siimens meetri kohta	*сим/м*	S/m	(1 S) : (1 m)
Mahtuvus	farad	*Ф*	F	(1 C) : (1 V)
Magnetvoog	veeber	*вб*	Wb	(1 C) : (1 Ω)
Magnetvootihedus ehk magnetiline induktsioon	tesla	*тл*	T	(1 Wb) : (1 m²)

1	2	3	4	5
Induktiivsus ja lähiinduktiivsus	henri	*гн*	H	(1 Wb) : (1 A)
Magneetimisergutus, magnetiline pinge, magnetomotoorjõud	amper	*а*	A	1 A
Magnetväljatugevus	amper meetri kohta	*а/м*	A/m	(1 A) : (1 m)
Tõkestus	amper veebri kohta	*а/вб*	A/Wb	(1 A) : (1 Wb)
		Valgusühikud		
Valgusvoog	luumen	*лм*	lm	(1 cd) : (1 sr)
Valgusenergia	luumen-sekund	*лм · сек*	lm · s	(1 lm) · (1 s)
Heledus	nitt (kandela ruutmeetri kohta)	*нт (св/м²)*	nt (cd/m²)	(k · 1 cd) : (k · 1 m²)
Valgustatus	luks	*лк*	lx	(1 lm) : (1 m²)

Lisa 2

Tähtsamad SI süsteemi ühikutega mitteühtivad MKfS süsteemi ühikud ja nende teisendamine SI süsteemi ühikuteks

Suurus	Mõõtühik	Mõõtühiku tähis		Ühiku mõõt (MKfS ja SI)
		vene tähtedega	ladina tähtedega	
Mass	jõukilogramm-sekund ruudus meetri kohta	*кгс · сек²/м*	kgf · s²/m	1 kgf · s²/m = 9,80665 kg
Tihedus	jõukilogramm-sekund ruudus meetri neljanda astme kohta	*кгс · сек²/м⁴*	kgf · s²/m⁴	1 kgf · s²/m⁴ = 9,80665 kg/m
Jõud	jõukilogramm	*кгс, кГ*	kgf, kG	1 kgf = 9,80665 N
Erikaal	jõukilogramm kuupmeetri kohta	*кгс/м³*	kgf/m³	1 kgf/m³ = 9,80665 N/m³
Inertsmoment	jõukilogramm-meeter-sekund ruudus	*кгс · м · сек²*	kgf · m · s²	1 kgf · m · s² = 9,80665 kg · m²
Töö, energia	jõukilogramm-meeter	*кгс · м*	kgf · m	1 kgf · m = 9,80665 J
Võimsus	jõukilogramm-meeter sekundi kohta	*кгс · м/сек*	kgf · m/s	1 kgf · m/s = 9,80665 W
Rõhk, pinge	jõukilogramm ruutmeetri kohta	*кгс/м²*	kgf/m²	1 kgf/m² = 9,80665 N/m²
Soojushulk	kalor [1]	*кал*	cal	1 cal = 4,1868 J
Soojusvoog	kalor sekundi kohta [1]	*кал/сек*	cal/s	1 cal/s = 4,1868 W
Soojusülekande- ja soojusläbikande tegur	kilokalor ruutmeeter-tund-Celsiuse kraadi kohta [1]	*ккал/(м² · ч · °C)*	kcal/(m² · h · °C)	1 kcal/(m² · h · °C) = 1,163 W/(m² · K)

[1] Mittesüsteemne ühik

Lisa 3

Eesliited ühikute kordsete ja jagude moodustamiseks

Eesliide	Tähis: vene tähtedega	Tähis: ladina või kreeka tähtedega	Kordustegur
tera-	*Т*	T	10^{12}
giga-	*Г*	G	10^{9}
mega-	*М*	M	10^{6}
kilo-	*к*	k	10^{3}
hekto-	*г*	h	10^{2}
deka-	*да*	da	10
detsi-	*д*	d	10^{-1}
senti-	*с*	c	10^{-2}
milli-	*м*	m	10^{-3}
mikro-	*мк*	μ	10^{-6}
nano-	*н*	n	10^{-9}
piko-	*п*	p	10^{-12}
femto-	*ф*	f	10^{-15}
atto-	*а*	a	10^{-18}

Lisa 4

Kaitstud ehitusega läbipuhutavate lühisasünkroonmootorite A2 põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimikoormusel: pöörlemissagedus p/s	Nimikoormusel: pöörlemiskiirus p/min	Nimikoormusel: kasutegur %	Nimikoormusel: cos φ	$\frac{I_n}{A}$	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel Ш2
A261-2	17	48,5	2910	87,7	0,91	32,4	5,3	1,5	2,4	125
A262-2	22	48,6	2920	89,6	0,92	40,5	5,9	1,7	2,6	143
A271-2	30	48,8	2930	90,3	0,91	55,5	5,8	1,2	2,7	166
A272-2	40	48,8	2930	90,9	0,9	74,1	5,9	1,2	2,7	198
A281-2	55	48,9	2935	91,6	0,91	100	5,5	1,1	2,5	292
A282-2	75	48,9	2935	92	0,91	136	6,2	1,05	2,4	339
A291-2	100	49,3	2960	93,6	0,92	176	6,4	1	2,9	463
A292-2	125	49,4	2965	94,2	0,93	217	7,4	1,2	3,3	521
A261-4	13	24,3	1460	89,6	0,88	25	5,7	1,2	2,7	125
A262-4	17	24,4	1465	90,4	0,87	32,7	6	1,3	2,7	143
A271-4	22	24,3	1460	89,9	0,86	43,1	5,1	1,2	2,5	166
A272-4	30	24,5	1470	91,4	0,88	56,6	5,9	1,2	2,8	198
A281-4	40	24,6	1475	92,2	0,9	73,1	5,9	1,1	2,7	292
A282-4	55	24,7	1480	93	0,9	100	6,9	1,3	3,1	339
A291-4	75	24,7	1480	93,4	0,91	136	6,3	1,2	2,8	463
A292-4	100	24,7	1480	94	0,91	175	6,3	1,2	2,8	521
A261-6	10	16,2	970	87,6	0,87	19,8	5,2	1,3	2,5	125
A262-6	13	16,3	975	89,2	0,87	25,4	5,8	1,5	2,8	143
A271-6	17	16,2	970	89,3	0,88	32,6	5,4	1,2	2,5	166
A272-6	22	16,3	980	90,3	0,88	41,8	5,6	1,2	2,6	198
A281-6	30	16,2	970	89,8	0,91	55,6	5	1,1	2,2	292
A282-6	40	16,3	975	90,9	0,91	72,9	5,4	1,2	2,4	339
A291-6	55	16,3	980	91,6	0,92	99	5,5	1,1	2,4	463
A292-6	75	16,4	985	93	0,91	135	6,9	1,4	3,1	521
A261-8	7,5	12,0	720	85,8	0,82	16,2	4,3	1,2	2,2	125
A262-8	10	12,2	730	87,6	0,82	21,2	4,6	1,2	2,3	143
A271-8	13	12,2	730	88,1	0,81	27,7	4,8	1,2	2,4	166
A272-8	17	12,0	720	88,9	0,83	35,1	4,7	1,1	2,3	198
A281-8	22	12,2	730	89,6	0,87	42,9	5	1,2	2,3	292
A282-8	30	12,3	735	90,4	0,86	58,2	5,4	1,3	2,5	339
A291-8	40	12,3	735	91,2	0,87	76,4	5,3	1,1	2,4	463
A292-8	55	12,3	735	91,9	0,88	103	5,4	1,1	2,5	521
A281-10	17	9,67	580	87,8	0,78	37,8	3,6	1,1	1,8	292
A282-10	22	9,67	580	89,3	0,78	48,1	3,8	1,1	1,9	339
A291-10	30	9,75	585	90,4	0,78	64,2	4,5	1,1	2,2	463
A292-10	40	9,75	585	90,8	0,78	85,3	4,5	1,1	2,2	521

Kinnise ehitusega ülepuhutavate lühisasünkroonmootorite AO2 põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimikoormusel				I_n A	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel IM2
		pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AO221-2	1,5	47,5	2850	80,8	0,91	3,1	5,6	1,9	2,4	19,5
AO222-2	2,2	48,0	2880	83,6	0,9	4,4	6,6	2,2	2,9	23
AO231-2	3	48,1	2885	84,6	0,91	5,9	6,4	1,9	2,7	34,5
AO232-2	4	48,2	2890	86	0,9	7,8	6,6	1,9	2,8	39,5
AO241-2	5,5	48,5	2910	89,6	0,91	10,5	6,3	1,6	2,7	56,5
AO242-2	7,5	48,6	2920	88,2	0,91	14,1	6,6	1,6	2,8	68
AO251-2	10	48,8	2930	88,5	0,91	18,9	7	1,6	3,1	104
AO252-2	13	48,7	2925	89,4	0,91	24,2	6,7	1,5.	2,9	113
AO262-2	17	48,7	2925	88,1	0,93	31,3	6,4	1,7	2,9	165
AO271-2	22	49,1	2945	87,8	0,92	41	6,6	1,4	3,1	208
AO272-2	30	49,1	2945	89,6	0,93	54,7	6,7	1,4	3,1	236
AO281-2	40	49,2	2950	89,7	0,93	73,1	6,5	1,3	3,1	333
AO282-2	55	49,2	2955	91,2	0,93	98,5	7,2	1,4	3,4	382
AO291-2	75	49,2	2955	91	0,94	133	5,8	1	2,7	532
AO292-2	100	49,3	2960	92,9	0,94	175	5,9	1	2,7	635
AO221-4	1,1	23,7	1420	80,1	0,8	2,6	4,6	1,7	2,3	19,5
AO222-4	1,5	23,7	1420	81,8	0,8	3,5	4,7	1,7	2,3	23
AO231-4	2,2	23,9	1435	82,7	0,85	4,8	5,9	2,2	2,7	34,5
AO232-4	3	23,9	1435	84,6	0,86	6,2	6,2	2,2	2,8	39,5
AO241-4	4	24,1	1445	86,9	0,89	7,7	5,7	1,6	2,4	56,5
AO242-4	5,5	24,3	1460	88,4	0,86	10,9	6,8	1,9	3	68
AO251-4	7,5	24,3	1460	88,8	0,9	14,3	5,9	1,4	2,5	104
AO252-4	10	24,4	1465	89,9	0,88	19,2	6,9	1,7	3	113
AO261-4	13	24,5	1470	89,7	0,88	25,3	6,4	1,4	3,1	143
AO262-4	17	24,5	1470	90,4	0,87	32,7	6,4	1,4	3,1	165
AO271-4	22	24,5	1470	91	0,89	41	5,7	1,2	2,7	208
AO272-4	30	24,5	1470	91,7	0,89	55,6	5,7	1,2	2,7	236
AO281-4	40	24,7	1480	92,4	0,91	71,9	6,8	1,3	3,1	333
AO282-4	55	24,6	1475	92,9	0,92	97,2	5,5	1	2,5	382
AO291-4	75	24,7	1480	93,2	0,93	131	6,1	1,1	2,7	532
AO292-4	100	24,7	1480	93,7	0,93	173	5,7	1,1	2,6	635
AO221-6	0,8	15,5	930	74,2	0,78	2,1	4	1,7	2	19,5
AO222-6	1,1	15,6	935	76,4	0,75	2,9	4,2	1,8	2,2	23
AO231-6	1,5	15,7	940	79,6	0,83	3,4	4,4	1,6	2	34,5
AO232-6	2,2	15,8	945	80,6	0,82	5	4,5	1,6	2,1	39,5
AO241-6	3	15,9	955	84,2	0,84	6,5	4,6	1,4	2,1	56,5
AO242-6	4	16,0	960	85,5	0,82	8,6	4,9	1,5	2,3	68
AO251-6	5,5	16,2	970	87,2	0,83	11,5	5,1	1,3	2,3	104
AO252-6	7,5	16,2	970	88,3	0,84	15,4	5,1	1,2	2,3	113
AO261-6	10	16,3	975	88,7	0,89	19,1	5,6	1,4	2,6	143
AO262-6	13	16,2	970	88,7	0,9	24,6	5,2	1,2	2,4	165
AO271-6	17	16,3	980	90,2	0,89	31,9	6,1	1,3	2,8	208
AO272-6	22	16,3	980	90,4	0,9	40,8	5,7	1,2	2,6	236
AO281-6	30	16,3	980	91,4	0,93	53,8	6,1	1,4	2,8	333
AO282-6	40	16,3	980	92	0,92	71,4	6,7	1,5	3	382
AO291-6	55	16,4	985	92,6	0,93	97,1	7	1,4	3,1	532
AO292-6	75	16,4	985	93	0,93	131	6,4	1,2	2,8	635
AO241-8	2,2	11,9	715	82,1	0,73	5,6	4,9	1,4	2,1	56,5
AO242-8	3	11,9	715	82,9	0,73	7,5	4	1,3	2	68
AO251-8	4	12,1	725	85,1	0,74	9,6	4,3	1,2	2,1	104
AO252-8	5,5	12,1	725	86,1	0,77	12,7	4,1	1	2	113
AO261-8	7,5	12,2	730	87,2	0,83	15,7	4,8	1,3	2,4	143
AO262-8	10	12,1	725	87,2	0,84	20,6	4,7	1,2	2,3	165
AO271-8	13	12,3	735	89,4	0,83	26,6	5,3	1,2	2,6	208
AO272-8	17	12,3	735	89,8	0,82	34,8	5,4	1,2	2,7	236
AO281-8	22	12,3	735	90,4	0,89	41,5	5,4	1,3	2,5	333
AO282-8	30	12,3	735	91,1	0,89	56,2	5,5	1,3	2,5	382
AO291-8	40	12,3	735	91,6	0,89	73,9	5,3	1,1	2,4	532
AO292-8	55	12,3	740	92,7	0,9	101	6,1	1,3	2,8	635
AO281-10	17	9,67	580	88,9	0,79	36,5	3,8	1,1	1,9	333
AO282-10	22	9,75	585	89,7	0,79	47,3	4,1	1,2	2	382
AO291-10	30	9,75	585	90,6	0,79	63	4,7	1,1	2,3	532
AO292-10	40	9,83	590	91,3	0,78	84,9	5	1,2	2,5	635

Suurema libistusega lühisasünkroonmootorite AC põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusele vastav *ПВ%*	Suurim lubatud võmsus standrdsetel *ПВ%* väärtustel					Nimivõimsusel				I_n A	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel Ш2	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
			15	25	40	60	100	pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ							
AC61-4	10	60	12	11,5	10,5	10	9,5	22,0	1320	81	0,88	21,3	4,5	2,2	2,4	125	0,09	0,36
AC62-4	14	35	15,5	14,5	13,5	13	12,5	22,5	1350	82	0,88	29,5	4,5	2,2	2,4	140	0,12	0,48
AC71-4	20	25	21,5	20	19	18	16,5	23,0	1380	83	0,88	41,6	4,5	1,9	2,4	205	0,238	0,95
AC72-4	28	20	29	27	25	23	21	22,7	1365	84	0,88	57,5	5	2,2	2,4	230	0,3	1,2
AC81-4	40	20	41	39	35	32	28	22,7	1365	85	0,88	81,6	5	2,2	2,4	360	0,475	1,9
AC82-4	55	15	55	50	46	41	35	23,0	1380	86	0,88	110	5	2,2	2,4	400	0,625	2,5
AC91-4	75	15	75	70	62	56	48	23,0	1380	87	0,88	149	5	2,2	2,4	590	1,18	4,7
AC92-4	100	15	100	92	81	75	65	23,0	1380	88	0,88	195	5	2,2	2,4	625	1,55	6,2
AC61-6	7	70	8,5	8	7,5	7,2	6,8	14,5	870	75	0,82	17,3	4	2	2,1	125	0,09	0,36
AC62-6	10	45	12	11	10,2	9,5	9	14,5	870	77	0,82	24	4	2,1	2,3	140	0,12	0,48
AC71-6	14	35	15,5	14,5	13,5	13	12	14,5	870	78,5	0,83	32,6	4	2,1	2,3	205	0,375	1,5
AC72-6	20	25	22	20	18,5	17,5	16	14,7	880	80	0,84	45,2	4	2,1	2,3	230	0,475	1,9
AC81-6	28	20	29	27	25	23	21	14,8	890	81	0,85	61,8	5	2,1	2,3	360	0,8	3,2
AC82-6	40	20	42	38	34	31	28	15,0	900	82	0,86	86,2	5	2,1	2,4	400	1,03	4,1
AC91-6	55	15	55	47	40	36	32	15,0	900	82,5	0,87	117	5	2,1	2,4	590	1,75	7
AC92-6	75	15	75	62	52	45	39	15,0	900	83,5	0,88	155	5	2,1	2,4	625	2,3	9,2
AC61-8	4,5	80	6,2	5,7	5,2	4,7	4,3	11,1	665	71,5	0,76	12,5	4	1,9	2	125	0,175	0,7
AC62-8	7	40	8,5	7,8	7	6,5	6	11,1	665	74	0,78	18,5	4	1,9	2	140	0,225	0,9
AC71-8	10	30	11	10,5	9,5	9	8,5	10,8	650	76	0,8	25	4	1,9	2,1	205	0,375	1,5
AC72-8	14	20	14,5	13,5	12,5	11,5	10,5	10,8	650	77,5	0,81	34	4	1,9	2,1	230	0,475	1,9
AC81-8	20	20	21	19,5	18	16,5	15,5	11,0	660	79	0,82	47	4	1,9	2,1	360	0,8	3,2
AC82-8	28	15	28	26	24	22	20	11,1	665	80	0,82	64,9	4	2	2,1	400	1,03	4,1
AC91-8	40	15	40	35	31	28	24	11,1	665	80	0,82	92,6	4	2	2,1	590	1,88	7,5
AC92-8	55	15	55	46	39	35	30	11,1	665	80,5	0,82	127	4	2	2,1	625	2,3	9,2

Lühisasünkroonmootorite AOC põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusele vastav *ПВ%*	Suurim lubatud võimsus standardsetel *ПВ%* väärtustel					Nimivõimsusel				I_n A	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel Ш2	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
			15	25	40	60	100	pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
AOC31-2	0,6	100	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	46,0	2760	72	0,87	1,5	5,5	2,6	2,8	21	0,0025	0,01
AOC32-2	1	100	1,3	1,25	1,2	1,1	1	46,0	2760	75	0,88	2,3	5,5	2,8	2,8	27	0,004	0,016
AOC41-2	1,7	80	2,6	2,3	2,1	1,8	1,6	45,5	2730	76	0,89	3,8	5,5	2,8	2,8	37	0,0075	0,03
AOC42-2	2,8	60	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5	46,2	2770	77	0,9	6,2	5,5	2,8	2,8	45	0,01	0,04
AOC51-2	4,5	40	5,1	4,7	4,5	4,3	4,2	46,2	2770	78	0,91	9,6	5,5	2,8	2,8	80	0,03	0,12
AOC52-2	7	30	7,8	7,1	6,5	6	5,3	46,2	2770	79	0,91	14,8	5,5	2,8	2,8	100	0,0425	0,17
AOC31-4	0,6	100	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	21,7	1300	67	0,79	1,7	5	2,3	2,3	21	0,00375	0,015
AOC32-4	1	70	1,4	1,3	1,2	1,05	0,9	21,7	1300	69	0,81	2,7	5	2,3	2,3	27	0,00525	0,021
AOC41-4	1,7	50	2,2	2	1,8	1,6	1,5	21,7	1300	72	0,84	4,3	5	2,3	2,3	37	0,012	0,048
AOC42-4	2,8	35	3,3	3	2,7	2,4	2,2	21,7	1300	74	0,85	6,8	5	2,3	2,3	45	0,0168	0,067
AOC51-4	4,5	25	4,7	4,5	4,2	4	3,8	22,2	1335	76	0,86	10,4	5	2,3	2,3	80	0,05	0,2
AOC52-4	7	20	7,3	6,6	6,2	5,7	5,3	22,2	1335	78	0,87	15,6	5	2,3	2,3	100	0,07	0,28
AOC62-4	10	60	14,5	13	11,5	10	9	22,5	1350	79	0,89	21,6	5,5	2,3	2,5	165	0,15	0,6
AOC63-4	14	50	19	17	15	13,5	12	22,5	1350	81	0,9	29	6	2,3	2,5	180	0,188	0,75
AOC72-4	20	40	27	23,5	20	18	16	22,5	1350	82,5	0,9	41	6	2,3	2,5	280	0,375	1,5
AOC73-4	28	30	34	30	25	22	19,5	22,7	1365	83,5	0,9	56,5	6	2,3	2,6	310	0,475	1,9
AOC82-4	40	25	46	40	35	31	28	23,0	1380	84,5	0,9	80	6	2,3	2,6	495	0,7	2,8
AOC83-4	55	25	62	55	50	45	40	23,3	1395	85	0,9	109	6	2,3	2,6	555	0,9	3,6
AOC93-4	75	20	80	71	62	57	51	23,3	1395	85,5	0,9	148	6	2,2	2,6	805	1,85	7,4
AOC94-4	100	15	100	89	77	71	65	23,3	1395	85,5	0,9	195	6	2,2	2,6	890	2,28	9,1
AOC41-6	1	70	1,55	1,4	1,2	1,1	0,9	14,3	860	69,5	0,77	2,8	4	2,2	2,2	37	0,012	0,048
AOC42-6	1,7	50	2,3	2	1,8	1,6	1,5	14,3	860	72	0,79	4,6	4	2,2	2,4	45	0,0168	0,067
AOC51-6	2,8	35	3,3	3	2,7	2,65	2,6	14,5	870	74	0,81	7	4	2	2,4	80	0,05	0,2
AOC52-6	4,5	25	4,8	4,5	4	3,9	3,6	14,8	890	76	0,82	11	4,5	2,2	2,4	100	0,07	0,28
AOC62-6	7	60	11	9,5	8	7	6	15,0	900	78	0,85	16	4,5	2,2	2,4	165	0,15	0,6
AOC63-6	10	45	14	12,5	10,5	8,8	7,5	15,0	900	79	0,86	22,3	4,5	2,2	2,4	180	0,188	0,75
AOC72-6	14	35	18	15,5	13,5	12	10,5	15,0	900	80	0,87	30,5	4,5	2,2	2,4	280	0,575	2,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
AOC73-6	20	30	23,5	21	18,5	17	15	15,0	900	81	0,88	42,5	4,5	2,2	2,4	310	0,75	3
AOC82-6	28	25	32	28	25	23	20,5	15,2	910	82	0,89	58,5	5,5	2,2	2,4	495	1,1	4,4
AOC83-6	40	20	44	38	34	31	28	15,2	910	82	0,9	82	5,5	2,2	2,6	555	1,43	5,7
AOC93-6	55	20	61	52	44	40	36	15,2	910	83	0,91	111	5,5	2,2	2,5	805	2,52	10,1
AOC94-6	75	20	85	70	58	51	47	15,2	910	84	0,91	149	5,5	2,2	2,5	890	3,4	13,6
AOC62-8	4,5	75	8	7	5,8	4,8	4,3	11,5	690	75	0,79	11,5	4,5	2,1	2,4	165	0,25	1
AOC63-8	7	60	11	9,5	8	7	6,5	11,3	675	76,5	0,81	17	4,5	2,1	2,4	180	0,325	1,3
AOC72-8	10	45	14	12	10,5	9,5	8,5	11,0	660	77,5	0,82	23,8	4,5	2,1	2,4	280	0,575	2,3
AOC73-8	14	35	18	15,5	13,5	12	11	11,0	660	78,5	0,82	33	4,5	2,1	2,4	310	0,75	3
AOC82-8	20	30	24	21	18,5	17	15,5	11,2	670	79,5	0,84	45,5	4,5	2,1	2,4	495	1.1	4,4
AOC83-8	28	25	32	28	25	24	21	11,3	675	80,5	0,84	63	4,5	2,1	2,4	555	1,43	5,7
AOC93-8	40	25	46	40	35	31	28	11,3	675	81,5	0,84	88,8	4,5	2,1	2,4	805	2,52	10,1
AOC94-8	55	25	63	55	48	42	36	11,3	675	82	0,84	121	4,5	2,1	2,4	890	3,4	13,6

Suurema käivitusmomendiga lühisasünkroonmootorite АП põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusel				I_n A	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel ЩЗ	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
		pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ							
АП61-4	10	24,2	1450	86	0,85	20,3	5	1,8	2,1	125	0,09	0,36
АП62-4	14	24,2	1450	87,5	0,85	28,6	5	1,8	2,2	140	0,12	0,48
АП71-4	20	24,2	1450	88	0,85	40,6	5	1,8	2,2	205	0,238	0,95
АП72-4	28	24,2	1450	89	0,85	56	6,5	1,8	2,2	230	0,3	1,2
АП81-4	40	24,3	1460	90	0,85	79,4	6	1,8	2,2	360	0,475	1,9
АП82-4	55	24,3	1460	90,5	0,86	107	6,5	1,8	2,2	400	0,625	2,5
АП91-4	75	24,3	1460	91	0,86	146	6	1,8	2,2	590	1,18	4,7
АП92-4	100	24,3	1460	91,5	0,86	193	6,5	1,8	2,2	665	1,55	6,2
АП61-6	7	16,0	960	84	0,79	16	4,5	1,7	2	125	0,09	0,36
АП62-6	10	16,0	960	86	0,81	21,7	5	1,8	2	140	0,12	0,48
АП71-6	14	16,2	970	86	0,82	29,9	5,5	1,8	2	205	0,375	1,5
АП72-6	20	16,2	970	87,5	0,83	41,6	6	1,8	2,2	230	0,475	1,9
АП81-6	28	16,3	975	88,5	0,84	57	6	1,8	2,2	360	0,8	3,2
АП82-6	40	16,3	975	89,5	0,84	80,8	6,5	1,8	2,2	400	1,03	4,1
АП91-6	55	16,3	980	90,5	0,84	104	6	1,8	2,2	590	1,75	7
АП92-6	75	16,3	980	91,5	0,84	148	6,5	1,8	2,2	665	2,3	9,2
АП61-8	4,5	12,2	730	82,5	0,74	11	5	1,7	2,2	125	0,175	0,7
АП62-8	7	12,2	730	84	0,76	16,7	5	1,7	2,2	140	0,225	0,9
АП71-8	10	12,2	730	85	0,77	23,2	5	1,7	2,2	205	0,375	1,5
АП72-8	14	12,2	730	86,5	0,77	32	5,5	1,7	2,2	230	0,475	1,9
АП81-8	20	12,2	730	87,5	0,77	45	5,5	1,7	2,2	360	0,8	3,2
АП82-8	28	12,2	730	88,5	0,77	62,5	5,5	1,7	2,2	400	1,03	4,1
АП91-8	40	12,2	730	89,5	0,78	87	5,5	1,7	2,2	590	1,88	7,5
АП92-8	55	12,2	730	90,5	0,78	117	6	1,7	2,2	665	2,3	9,2

Lühisasünkroonmootorite АОП põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusel				I_n A	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel Ш2	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
		pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ							
АОП41-4	1,7	23,7	1420	81	0,81	3,9	5,5	2	2,4	37	0,012	0,048
АОП42-4	2,8	23,7	1420	83	0,83	6,2	6	2	2,6	45	0,0168	0,067
АОП51-4	4,5	24,0	1440	84,5	0,85	9,5	6,5	2	2,8	80	0,05	0,2
АОП52-4	7	24,0	1440	86	0,86	14,2	7	2	2,8	100	0,07	0,28
АОП62-4	10	24,3	1460	86,5	0,87	20	7	2	2,5	165	0,15	0,6
АОП63-4	14	24,3	1460	87,5	0,87	27,5	7	2	2,8	180	0,118	0,75
АОП72-4	20	24,3	1460	88	0,87	40	7	1,9	2,8	280	0,375	1,5
АОП73-4	28	24,3	1460	89	0,87	54,5	7,5	1,9	2,8	310	0,475	1,9
АОП82-4	40	24,5	1470	90	0,88	76,5	7	1,9	2,6	495	0,7	2,8
АОП83-4	55	24,5	1470	90,5	0,88	104	7,5	1,9	2,6	555	0,9	3,6
АОП93-4	75	24,5	1470	91	0,89	138	7	1,9	2,6	805	1,85	7,4
АОП94-4	100	24,5	1470	91,5	0,89	185	7,5	1,9	2,6	890	2,28	9,1
АОП41-6	1	15,5	930	76,5	0,72	2,8	4,5	1,9	2,4	37	0,012	0,048
АОП42-6	1,7	15,5	930	79,5	0,75	4,4	5	1,9	2,4	45	0,0168	0,067
АОП51-6	2,8	15,7	940	82	0,78	6,6	5	1,9	2,4	80	0,05	0,2
АОП52-6	4,5	15,7	940	83,5	0,8	10,2	5,5	1,9	2,4	100	0,07	0,28
АОП62-6	7	16,2	970	85	0,81	15,5	6	1,9	2,3	165	0,15	0,6
АОП63-6	10	16,2	970	86	0,82	21,5	6	1,9	2,4	180	0,188	0,75
АОП72-6	14	16,3	980	86,5	0,83	29,5	6	1,9	2,4	280	0,575	2,3
АОП73-6	20	16,3	980	87,5	0,84	40,5	6,5	1,9	2,4	310	0,75	3
АОП82-6	28	16,3	980	88,5	0,86	55	6,5	1,9	2,4	495	1,1	4,4
АОП83-6	40	16,3	980	89,5	0,87	77	7	1,9	2,4	555	1,43	5,7
АОП93-6	55	16,4	985	90,5	0,88	104	7,5	1,8	2,4	805	2,52	10,1
АОП94-6	75	16,4	985	91,5	0,89	139	7	1,8	2,4	890	3,4	13,6
АОП62-8	4,5	12,3	735	82,5	0,73	11,3	6	1,8	2,4	165	0,25	1
АОП63-8	7	12,3	735	84	0,76	16,5	6	1,8	2,4	180	0,325	1,3
АОП72-8	10	12,3	735	85	0,77	23	6	1,8	2,4	280	0,575	2,3
АОП73-8	14	12,3	735	86,5	0,77	31,8	6	1,8	2,4	310	0,75	3
АОП82-8	20	12,3	735	87,5	0,8	43,3	6	1,8	2,3	495	1,1	4,4
АОП83-8	28	12,3	735	88,5	0,8	60	6	1,8	2,3	555	1,43	5,7
АОП93-8	40	12,3	735	89,5	0,81	83,5	6,5	1,8	2,3	805	2,52	10,1
АОП94-8	55	12,3	735	90,5	0,81	114	7	1,8	2,3	890	3,4	13,6

Plahvatusohutute lühisasünkroonmootorite MA140 põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusel				I_n A	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel Ш2	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
		pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ							
MA142-1/4	5,5	24,1	1445	86	0,84	11,5	6	1,7	2,1	138	0,0775	0,31
MA142-2/4	8	24,3	1460	88	0,84	16,4	6	1,7	2,1	158	0,095	0,38
MA143-1/4	11,4	24,3	1460	88,5	0,85	23	5,5	1,7	2	213	0,268	1,07
MA143-2/4	16	24,5	1470	90	0,85	31,7	6	1,8	2,1	248	0,353	1,41
MA144-1/4	21,5	24,5	1470	90	0,85	42,7	6,5	1,9	2	310	0,693	2,77
MA144-2/4	29	24,6	1475	91	0,86	56,2	7	2	2,1	370	0,855	3,42
MA145-1/4	36	24,5	1470	87,5	0,86	72,5	7	2	2	510	1,25	5
MA145-2/4	45	24,6	1475	88,5	0,86	89,5	7	2	2,2	565	1,5	6
MA146-1/4	68	24,7	1480	89,5	0,83	139	6,5	2,1	2,2	720	2,35	9,4
MA146-2/4	85	24,7	1480	90	0,83	172	6,5	2,1	2,2	820	2,85	11,4
MA142-1/6	3,8	16,0	960	84	0,77	8,9	5	1,2	1,9	138	0,09	0,36
MA142-2/6	5,5	16,1	965	86,5	0,77	12,5	5,5	1,4	2	158	0,115	0,46
MA143-1/6	8	16,2	970	87,5	0,79	17,5	5,5	1,6	1,6	213	0,328	1,31
MA143-2/6	11	16,3	980	89	0,79	23,7	5,5	1,6	1,6	248	0,418	1,67
MA144-1/6	16,5	16,3	980	89,5	0,8	35	5,5	1,9	1,9	310	0,89	3,56
MA144-2/6	21,5	16,3	980	90,5	0,8	45	6	2	2	370	1,14	4,54
MA145-1/6	25	16,2	970	87	0,85	51,3	6,5	2	2	510	1,45	5,8
MA145-2/6	34	16,3	975	88	0,85	69	6,5	2	2	565	1,75	7
MA146-1/6	46	16,3	980	89,5	0,84	92,8	6,5	2,1	2,1	720	3,1	12,4
MA146-2/6	61	16,3	980	90	0,85	121	6,5	2,1	2,1	820	3,8	15,2
MA142-1/8	2,7	12,0	720	80,5	0,7	7,3	5	1,2	1,8	138	0,0875	0,35
MA142-2/8	4	12,0	720	82,5	0,7	10,5	5	1,3	1,8	158	0,175	0,43
MA143-1/8	6,5	12,1	725	85,5	0,75	15,4	5	1,4	1,8	213	0,375	1,5
MA143-2/8	8,5	12,1	725	87,5	0,75	19,9	6	1,6	1,9	248	0,488	1,95
MA144-1/8	11	12,2	730	87,5	0,75	25,4	5,5	1,7	1,8	310	1,13	4,51
MA144-2/8	15	12,3	735	88,5	0,75	34,2	6	1,7	1,9	370	1,45	5,81
MA145-1/8	20	12,0	720	85	0,8	44,5	6	2,1	2,2	510	1,55	6,2
MA145-2/8	25	12,1	725	86,5	0,78	56	7,3	2,2	2,3	565	1,88	7,5
MA146-1/8	35	12,2	730	88,5	0,79	76	6,5	2,2	2,2	720	3,56	14,3
MA146-2/8	46	12,3	735	89	0,78	100	7	2,2	2,2	820	4,43	17,7

Lisa 11

Plahvatusohutute lühisasünkroonmootorite K põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusel				I_n A	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel Ш2	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
		pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ							
K11-4	4	24,5	1470	88	0,84	8,5	6	2	2,2	168	0,123	0,49
K12-4	6	24,5	1470	89	0,87	12	6	2	2,2	198	0,168	0,67
K21-4	8	24,6	1475	90	0,85	16	6	2,2	2,3	235	0,245	0,97
K31-4	11	24,7	1480	90	0,85	22	6	2,2	2,3	440	0,708	2,83
K32-4	15	24,7	1480	90	0,85	29,5	6,5	2,3	2,4	505	0,913	3,65
K11-6	3	16,2	970	85	0,74	7,5	5	2,2	2,4	168	0,135	0,54
K12-6	4	16,2	970	86	0,74	9,5	5	2,2	2,4	198	0,19	0,76
K21-6	6	16,3	975	88	0,76	13,5	5,5	2	2,4	235	0,258	1,03
K22-6	8	16,3	980	89	0,76	18	5,5	2	2,4	285	0,355	1,42
K31-6	11	16,3	980	90	0,81	23	5,5	2	2,2	440	0,858	3,43
K32-6	14	16,4	985	90	0,8	32	6	2	2,2	505	1,13	4,51
K21-8	4	12,2	730	86	0,7	10	5	2	2,2	235	0,258	1,03
K22-8	6	12,2	730	88	0,72	14,5	5	2	2,2	285	0,375	1,5
K31-8	8	12,2	735	88	0,73	19	5	2	2	440	1,15	4,61
K32-8	11	12,2	735	89	0,75	25	5	2	2	505	1,52	6,07

Plahvatusohutute ülepuhutavate lühisasünkroonmootorite KOM põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusel				I_n A	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	Mass kg kujundusel Ш2	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
		pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
KOM11-2	0,6	48,0	2880	75	0,86	1,4	7	1,6	2	25	0,0025	0,01
KOM12-2	1	48,0	2880	76	0,86	2,3	7	1,6	2	30	0,004	0,016
KOM21-2	1,7	48,2	2890	79,2	0,87	3,75	7	1,8	2	55	0,0075	0,03
KOM22-2	2,8	48,2	2890	81,5	0,88	5,9	7	1,8	2	62	0,01	0,04
KOM31-2	4,5	48,3	2900	81	0,9	9,4	7	1,8	2	85	0,03	0,12
KOM32-2	7	48,3	2900	85	0,9	13,8	7,5	1,8	2	104	0,0425	0,17
KOM41-2	10	48,8	2930	84	0,9	20	6,2	1,5	2,55	190	0,0825	0,33
KOM42-2	13	48,8	2930	86	0,92	25	6,6	1,35	2,55	210	0,113	0,45
KOM51-2	17	49,3	2960	87	0,91	32,5	7,4	1,1	3	270	0,225	0,9
KOM52-2	22	49,3	2960	89	0,93	40,5	7,2	1	3	310	0,313	1,25
KOM61-2	30	49,0	2940	88	0,92	56,5	5,6	1	2,3	440	0,423	1,69
KOM62-2	40	49,0	2940	89,5	0,93	73,5	6,1	1,1	2,4	505	0,655	2,62
KOM11-4	0,6	23,7	1420	75	0,74	1,65	6	1,6	2	25	0,00375	0,015
KOM12-4	1	23,7	1420	76,2	0,77	2,6	6	1,6	2	30	0,00525	0,021
KOM21-4	1,7	23,7	1420	78,4	0,8	4,1	6,5	1,7	2	55	0,012	0,048
KOM22-4	2,8	23,7	1420	80,3	0,82	6,5	6,5	1,7	2	62	0,0168	0,067
KOM31-4	4,5	24,0	1440	85	0,84	9,6	6,5	1,7	2	85	0,05	0,2
KOM32-4	7	24,2	1450	86	0,86	14,4	6	1,7	2	104	0,07	0,28
KOM41-4	10	24,4	1465	88	0,85	20,5	6,1	1,9	2,25	185	0,119	0,475
KOM42-4	13	24,3	1460	88	0,85	26,5	6,6	2	2,3	205	0,165	0,66
KOM51-4	17	24,5	1470	89	0,85	34	6	1,8	2,2	275	0,23	0,92
KOM52-4	22	24,5	1470	89	0,85	44,4	6,4	2	2,1	300	0,318	1,27
KOM61-4	30	24,6	1475	91	0,86	58	6	2,2	2,1	450	0,653	2,61
KOM62-4	40	24,6	1475	92	0,88	75	6	2,4	2,1	500	0,875	3,5
KOM71-4	55	24,7	1480	91,5	0,875	105	6,5	2,5	2,5	670	1,35	5,4
KOM72-4	75	24,7	1480	91	0,85	150	6,1	2,1	2,2	735	1,69	6,75
KOM73-4	100	24,7	1480	93	0,88	185	6	2,3	2,2	855	2,22	8,86
KOM22-6	1,7	15,5	930	80	0,72	4,5	6	1,6	2	62	0,0168	0,067
KOM31-6	2,8	15,7	940	82	0,75	6,8	6,5	1,3	2	85	0,05	0,2
KOM32-6	4,5	15,8	950	83,5	0,8	10,2	6	1,2	2	104	0,07	0,28

Lisa 12 (järg)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
KOM41-6	7,5	16,2	970	86	0,74	18	5,7	1,95	2,45	185	0,138	0,55
KOM42-6	10	16,2	970	87	0,75	23,5	6,2	2,1	2,5	205	0,19	0,76
KOM51-6	13	16,2	970	87,5	0,78	29	5,5	2,1	2,4	275	0,258	1,03
KOM52-6	17	16,2	970	88	0,79	37	5,7	2,2	2,2	300	0,358	1,43
KOM61-6	22	16,3	975	90	0,86	43	6,5	2,3	2,2	450	1,07	4,28
KOM62-6	30	16,3	980	91	0,88	57	6,6	2,1	2,2	500	1,44	5,75
KOM41-8	5,5	12,2	730	83	0,69	14,5	5,3	1,8	2,4	185	0,198	0,79
KOM42-8	7,5	12,2	730	85	0,7	19	5,2	2,0	2,3	205	0,258	1,03
KOM51-8	10	12,1	725	87	0,72	24	5,6	1,6	2,2	275	0,358	1,43
KOM52-8	13	12,1	725	87	0,73	31	6,3	1,6	2	300	0,453	1,81
KOM61-8	17	12,3	735	89	0,8	36,5	6	2,3	2,1	450	1,07	4,28
KOM62-8	22	12,3	735	89,5	0,82	45	6,9	2,5	2,1	500	1,44	5,75
KOM73-8	55	12,3	735	91	0,81	115	6	2,6	2,1	855	3,88	15,5

Kaitstud kolmefaasiliste faasasünkroonmootorite AK põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusel: pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	staatorivool A pingel V: 127	220	380	500	kasutegur %	cos φ	Rootori andmed: pinge V	vool A	M_{max}/M_n	Mass kg kujundusel IM2	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
AK51-4	2,8	22,8	1370	18,9	10,9	6,3	4,8	78	0,82	84	22,5	2,2	84	0,0475	0,19
AK52-4	4,5	23,4	1400	29,4	17	9,8	7,5	80	0,83	131	22	2,2	105	0,0675	0,27
AK60-4	7	23,4	1400	—	27	15,5	12	82	0,84	144	33,5	2,2	125	0,113	0,45
AK61-4	10	23,7	1420	—	37	21,5	16,5	83,5	0,85	207	32	2,2	145	0,138	0,55
AK62-4	14	23,7	1420	—	50	29	22	84,5	0,86	262	35	2,2	160	0,163	0,65
AK71-4	20	23,7	1420	—	70	40,5	31	86	0,86	193	68	2,2	235	0,275	1,1
AK72-4	28	23,7	1420	—	96	55,5	42	87	0,87	250	71	2,6	260	0,325	1,3
AK81-4	40	24,0	1440	—	135	78	60	88	0,87	336	74	2,6	400	0,625	2,5
AK82-4	55	24,0	1440	—	182	105	80	89	0,87	480	72	2,6	440	0,75	3
AK91-4	75	24,3	1460	—	247	143	110	90	0,88	383	115	2,6	640	1,55	6,2
AK92-4	100	24,3	1460	—	330	190	145	90,5	0,88	520	117	2,8	710	1,9	7,6
AK51-6	1,7	15,1	905	4,4	8,3	4,8	3,7	72,5	0,72	57	20,2	2	84	0,0475	0,19
AK52-6	2,8	15,3	920	22,2	12,8	7,4	5,6	75,5	0,74	91	21,2	2	105	0,065	0,26
AK60-6	4,5	15,4	925	—	20	11,5	8,9	78,5	0,76	117	26	1,8	125	0,188	0,75
AK61-6	7	15,7	940	—	28,5	16,5	12,5	81	0,78	175	26	2	145	0,238	0,95
AK62-6	10	15,7	940	—	39	22,5	17,5	82,5	0,79	225	30	2	160	0,275	1,1
AK71-6	14	15,8	950	—	54	31	24	84	0,8	157	63	2	235	0,425	1,7
AK72-6	20	15,8	950	—	75	43	33	85	0,81	212	63	2	260	0,525	2,1
AK81-6	28	16,1	965	—	103	60	45	86,5	0,82	276	67	2	400	0,925	3,7
AK82-6	40	16,1	965	—	143	83	88,5	87,5	0,83	390	65	2,2	440	1,15	4,6
AK91-6	55	16,2	970	—	192	110	85	88,5	0,83	390	88	2,4	640	2,7	10.8
AK92-6	75	16,2	970	—	228	150	113	89,5	0,84	538	88	2,4	710	3,38	13,5
AK61-8	4,5	11,7	700	—	21	12	9,5	76,5	0,72	126	24	1,9	145	0,238	0,95
AK62-8	7	11,7	700	—	30	17,5	13,5	79,5	0,74	168	28	1,9	160	0,275	1,1
AK71-8	10	11,7	700	—	42	24	18,5	81,5	0,76	118	64	1,9	235	0,4	1,6
AK72-8	14	11,7	700	—	57	33	25	83	0,77	160	64	1,9	260	0,5	2
AK81-8	20	11,8	710	—	78	45	34	84,5	0,79	230	57	1,9	400	0,875	3,5
AK82-8	28	11,8	710	—	106	61	47	86	0,8	323	56	1,9	440	1,1	4,4
AK91-8	40	12,0	720	—	147	185	65	87,5	0,81	270	92	1,9	640	2,6	10,4
AK92-8	55	12,0	720	—	197	114	87	88,5	0,82	376	92	1,9	710	3,25	13

Plahvatusohutute faasasünkroonmootorite MA140Ф põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusel				$\frac{M_{max}}{M_n}$	Rootori andmed		Mass kg kujundusel IM2	Rootori inertsmoment kg · m²	Rootori hoomoment kgf · m²
		pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	kasutegur %	cos φ		vool A	pinge V			
MA145Ф-1/6	21	16,3	975	86,5	0,83	3,2	113	114	625	1,8	7,2
MA145Ф-2/6	28	16,3	980	88,3	0,83	3,5	116	147	675	2,13	8,5
MA146Ф-1/6	38	16,4	985	88,8	0,83	3,2	137	171	850	3,73	14,9
MA146Ф-2/6	52	16,4	985	89,5	0,84	3,5	144	220	930	4,43	17,7
MA145Ф-1/8	18	12,1	725	84,3	0,75	2,8	112	101	625	1,8	7,2
MA145Ф-2/8	22,5	12,2	730	84,5	0,74	3,2	101	138	675	2,13	8,5
MA146Ф-1/8	31	12,3	735	88,3	0,78	2,8	127	150	850	4,18	16,7
MA146Ф-2/8	42	12,3	735	88,7	0,78	3,5	128	200	930	5,03	20,1

Kinniste ülepuhutavate ühefaasiliste asünkroonmootorite АОБ ja АОЛБ põhiandmed

Tüüp	Nimivõimsus kW	Nimivõimsusel pöörlemissagedus p/s	pöörlemiskiirus p/min	staatorivool A pingel V 127	220	380	kasutegur %	cos φ	I_k/I_n	M_k/M_n	M_{max}/M_n	Mootori mass kg kujundusel Щ2	Щ2/Ф3	Ф3	Rootori inertsmoment (kg · m²) · 10⁻³	Rootori hoomoment kgf · m²
АОБ31-2	400	48,6	2920	6,55	3,8	2,15	66	0,72	9	1	2,2	21	23	21	2,5	0,010
АОБ32-2	600	49,0	2940	9,5	5,5	3,2	69	0,72	9	1	2,2	27	30	27	4,0	0,016
АОБ31-4	270	24,0	1440	5,7	3,3	1,9	60	0,62	8	1,2	1,9	21	23	21	3,75	0,015
АОБ32-4	400	24,0	1440	7,6	4,4	2,55	67	0,62	8	1,2	1,9	27	30	27	5,25	0,021
АОЛБО11-2	30	48,0	2880	0,85	0,49	0,28	41	0,68	8	1	1,4	—	3,1	3	0,3	0,0012
АОЛБО12-2	50	48,0	2880	1,18	0,68	0,39	48	0,7	8	1	1,4	—	3,5	3,4	0,35	0,0014
АОЛБ11-2	80	48,2	2890	1,75	1	0,6	51	0,72	7,5	1	2,2	—	4,9	4,7	0,55	0,0022
АОЛБ12-2	120	48,2	2890	2,4	1,4	0,8	55	0,72	7,5	1	2,2	—	5,8	5,6	0,65	0,0026
АОЛБ21-2	180	48,2	2890	3,3	1,9	1,1	59	0,72	7,5	1	2,2	—	7,5	7,2	1,3	0,0052
АОЛБ22-2	270	48,2	2890	4,7	2,7	1,5	63	0,72	7,5	1	2,2	—	9,1	8,8	1,6	0,0064
АОЛБ31-2	400	48,6	2920	6,55	3,8	2,15	66	0,72	9	1	2,2	12	—	—	2,5	0,010
АОЛБ32-2	600	49,0	2940	9,5	5,5	3,2	69	0,72	9	1	2,2	16	—	—	4,0	0,016
АОЛБО11-4	18	22,8	1370	1,05	0,61	0,35	22	0,62	6,5	1	1,4	—	3	2,9	0,3	0,0012
АОЛБО12-4	30	23,2	1390	1,38	0,8	0,46	28	0,62	6,5	1	1,4	—	3,5	3,4	0,35	0,0014
АОЛБ11-4	50	23,7	1420	1,9	1,1	0,65	34	0,62	7,5	1,2	1,8	—	4,7	4,5	0,55	0,0022
АОЛБ12-4	80	23,7	1420	2,5	1,45	0,85	41	0,62	7,5	1,2	1,8	—	5,6	5,4	0,65	0,0026
АОЛБ21-4	120	23,7	1420	3,3	1,9	1,1	47	0,62	7,5	1,2	1,8	—	7,3	7	1,3	0,0052
АОЛБ22-4	180	23,7	1420	4,3	2,5	1,45	53	0,62	7,5	1,2	1,8	—	8.8	8,5	1,6	0,0064
АОЛБ31-4	270	24,0	1440	5,7	3,3	1,9	60	0,62	8	1,2	1,9	12	—	—	3,75	0,015
АОЛБ32-4	400	24,0	1440	7,6	4,4	2,55	67	0,62	8	1,2	1,9	16	—	—	5,25	0,021

KIRJANDUS

1. Алексеев М. М., Демидов Е. Ф. Полуавтомат для резки заготовок. Журнал «Огнеупоры», № 4, 1962.
2. Андреев В. П., Сабинин Ю. А. Основы электропривода. ГЭИ, 1963.
3. Бабиков М. А. Электрические аппараты. ГЭИ, 1956.
4. Басов А. М., Казанцев Ф. С. Досвечивание рассады в теплицах. Челябинское книжное издательство, 1959.
5. Бондаренко С. П. Электропривод сільскогосподарських машин. Гостехиздат, Киев, 1961.
6. Булгаков А. А. Электронные устройства автоматического управления. ГЭИ, 1958.
7. ВАСХНИЛ. Выращивание овощей при искусственном освещении. Сельхозгиз, 1960.
8. ВАСХНИЛ и ВИЭСХ. Ультрафиолетовое облучение сельскохозяйственных животных и птиц. Отдел технической информации ВИЭСХ, 1959.
9. Гейлер Л. Б. Электропривод в тяжелом машиностроении. Машгиз, 1958.
10. Глуханов Н. П. Физические основы высокочастотного нагрева. Машгиз, 1957.
11. Голован А. Т. Основы электропривода. ГЭИ, 1959.
12. Грачев А. В. Механизация и автоматизация трудоемких операций в лесопильном производстве. Гослесбумиздат, 1961.
13. Гуров И. Н., Кононов М. И. Электрооборудование сельскохозяйственных машин. Машгиз, 1960.
14. Древс Г. В. Электрооборудование элеваторов, мельниц, крупяных и комбикормовых заводов. Хлебиздат, 1956.
15. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. Под редакцией акад. М. Г. Евреинова. Сельхозгиз, 1958.
16. Иванов А. А. Механизация работ в животноводстве. Сельхозиздат, 1962.
17. Иванович Э. М., Шустов В. А. Механизация и электрификация в закрытом грунте. Сельхозгиз, 1955.
18. Киптенко А. К., Мартынов П. Т., Никифоров В. С. Производство кирпича в колхозах. Госстройиздат, 1959.
19. Климов А. А. Электрификация производственных процессов в животноводстве. Сельхозгиз, 1955.
20. Кнорринг Г. М. Справочник для проектировщика электрического освещения. ГЭИ, 1956.
21. Лазарев Д. Н. Ультрафиолетовая радиация и ее применение. ГЭИ, 1950.
22. Леман В. М. Курс светокультуры растений. Издательство «Высшая школа», 1961.
23. Лернер А. Я., Фейгин В. И. Автоматическое управление электроприводами. ГЭИ, 1950.
24. Липман Р. А., Мазо Р. И. Автоматический регулятор загрузки помольных машин. Журнал «Стрсительные материалы», № 3, 1962.
25. Листов П. Н. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве. Сельхозиздат, 1961.
26. Лозинский М. Г. Промышленное применение индукционного нагрева. Издание Академии наук СССР, 1958.
27. Маковский П. В. Автоматизация технологических процессов в деревообработке. Гослесбумиздат, 1961.

28. Марголин, И. А., Румянцев Н. П. Основы инфракрасной техники. Военное издательство Министерства Обороны Союза ССР, 1957.
29. Марьяновский Е. Л. Эксплуатация электросилового оборудования мельниц, крупозаводов и элеваторов. Хлебиздат, 1958.
30. Миндин Г. Р. Электронагревательные трубчатые элементы. ГЭИ, 1960.
31. Морозов Д. П. Основы электропривода. ГЭИ, 1950.
32. Назаров Г. И. Электропривод в сельском хозяйстве. Сельхозгиз, 1949.
33. Наний Е. П. Исследование электрических свойств воды в применении к расчету электродных нагревателей. Журнал «Известия ВУЗов», № 11, 1959.
34. Носов М. С., Оранский Н. Н., Перфилов В. А. Механизация работ на животноводческих фермах. Профтехиздат, 1963.
35. Попов В. И. Электрический привод и автоматика. Сельхозгиз, 1957.
36. Попов В. К. Электропривод. ГЭИ, 1946.
37. Рабинович И. Я. Обрудование для дуговой электрической сварки. Машгиз, 1958.
38. Справочник по применению электроэнергии в сельском хозяйстве. Под общей редакцией Н. А. Сазонова. Сельхозгиз, 1958.
39. Славин Р. М. Автоматизация на животноводческих фермах. Сельхозиздат, 1963.
40. Слухоцкий А. Е. Закалочные индукторы. Машгиз, 1957.
41. Смирнов В. И. Устройство и расчет парников с электрическим обогревом. Отдел технической информации ВИЭСХ, 1958.
42. Соколов А. Я. Машины для переработки зерна. Хлебиздат, 1963.
43. Соминич Н. Г. Механизация животноводческих ферм. Сельхозгиз, 1959.
44. Справочник. Сельскохозяйственная техника. Сельхозиздат, 1963.
45. Урвачев П. Н. Исследование электроприводов стационарных сельскохозяйственных машин. Научные труды ВИЭСХ, том II, 1956.
46. Чернобай Д. Г. Электроавтоматика оборудования машиностроительных заводов. Машгиз, 1963.
47. Черкозубов К. П. Краткий справочник сельского электрификатора. Сельхозиздат, 1961.
48. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода. ГЭИ, 1961, 1965.
49. Шамов А. Н. Питание высокочастотных нагревательных устройств от машинных генераторов (вып. 10). Машгиз, 1957.
50. Щуров С. В. Экономическая эффективность электрификации колхозного производства. Сельхозгиз, 1952.
51. Agur, U. ja Tiismus, H. Elektriajamid. ERK, Tallinn, 1963.
52. Üldine elektrotehnika, II ümbertöötatud trükk. Toimetanud R. Hollmann. ERK, Tallinn, 1954.
53. Jänes, H., Kaasik, P., Puusepp, E., Voldek, A. Elektrimasinad. ERK, Tallinn, 1961.
54. Listov, P. N. Põllumajandusliku tootmise elektrifitseerimine. Kirjastus «Valgus», Tallinn, 1967.
55. Schults, K. Mõõtühikud füüsikaliste suuruste mõõtmiseks. Rahvusvaheline mõõtühikute süsteem SI. ERK, Tallinn, 1968.
56. Wõrk, H. R. Mõõtühikud ja tähised. Kirjastus «Valgus», Tallinn, 1965.

SISUKORD

Sissejuhatus 5

ESIMENE OSA. **ELEKTRIAJAMI TEOREETILISED ALUSED**

I peatükk. **Elektriajamite areng ja nende üldiseloomustus**

§ 1. Elektriajamite arengu põhisuunad 9
§ 2. Mõiste «elektriajam» määratelu 10
§ 3. Transmissioonelektriajamid 11
§ 4. Üksikelektriajamid 12
§ 5. Mitmemootorilised elektriajamid 17
§ 6. Üksikajami eelised ja puudused võrreldes rühmaajamiga 20

II peatükk. **Töömasinate ja elektrimootorite mehaaniliste tunnusjoonte analüüs**

§ 1. Töömasinate ja elektrimootorite mehaanilised tunnusjooned 22
§ 2. Elektriajami staatiline stabiilsus 26
§ 3. Põllumajanduses kasutatavad elektrimootorid 29
§ 4. Alalisvoolu-rööpergutusmootori mehaanilised tunnusjooned 30
§ 5. Rööpergutusmootori pidurdusolukorrad 33
§ 6. Rööpergutusmootori pöörlemissageduse reguleerimine 37
§ 7. Alalisvoolu-jadaergutusmootori mehaanilised tunnusjooned. Mootoriolukord 39
§ 8. Jadaergutusmootori pidurdusolukorrad 41
§ 9. Jadaergutusmootori pöörlemissageduse reguleerimine 43
§ 10. Liitergutusmootor 44
§ 11. Asünkroonmootorite mehaanilised tunnusjooned. Mootori olukord . . . 45
§ 12. Asünkroonmootorite pidurdusolukorrad 51
§ 13. Asünkroonmootorite pöörlemissageduse reguleerimine ja reverseerimine . . 54
§ 14. Ühefaasiline asünkroonmootor 56
§ 15. Sünkroonmootor, tema mehaaniline ja nurgatunnusjoon 59

III peatükk. **Elektriajamite dünaamika ja siirdeolukorrad**

§ 1. Elektriajami liikumisvõrrand 65
§ 2. Takistus- ja inertsmomentide taandamine ühele võllile 66
§ 3. Käivitus- ja pidurduskestuse leidmine 69
§ 4. Soodsaima ülekandearvu leidmine lühima käivitus- ja pidurduskestuse põhjal 73
§ 5. Käivitus- ja pidurdusolukorra energeetika 78
§ 6. Lineaarse mehaanilise tunnusjoonega elektriajami töö, kui töömasina tõuke-koormust kujutab perioodiline kahelõiguline koormuskõver 81
§ 7. Lineaarse mehaanilise tunnusjoonega elektriajami töö, kui töömasina koormust kujutab perioodiline koosinuselis-ristkülikuline koormuskõver . . . 89

IV peatükk. **Elektrimootorite mehaaniline koormus ja soojusolukord**

§ 1. Üldandmeid 101
§ 2. Elektrimootori soojenemis- ja jahtumisvõrrand 103
§ 3. Elektrimootori soojenemine mitmesugusel koormusel 106
§ 4. Peamised elektrimootori võimsust mõjustavad soojenemisega seoses olevad tegurid 106
§ 5. Keskkonna temperatuuri mõju elektrimootori võimsusele 107

V peatükk. **Käitava mootori vajaliku võimsuse leidmine mitmesuguse talitlusolukorra jaoks**

§ 1. Elektrimootorite liigitus talitlusolukorra järgi 109
§ 2. Kestev püsikoormus 111
§ 3. Kestev muutuvkoormus 119
§ 4. Elektrimootori võimsuse leidmine lühiajalise talitluse puhul 122
§ 5. Elektrimootori võimsuse leidmine vaheajalise talitluse puhul 125
§ 6. Elektrimootori võimsuse leidmine normatiivsete andmete põhjal 129
§ 7. Elektrimootori võimsuse ja agregaadi taandatud inertsmomendi leidmine tõukekoormusel 130
§ 8. Elektrimootori võimsuse ja agregaadi taandatud inertsmomendi leidmine töömasina koosinuselis-ristkülikulise koormuskõvera korral 134

VI peatükk. **Elektrijõuseadmete võimsustegur ja selle parendamise viisid**

§ 1. Mida põhjustab halb $\cos\varphi$ 137
§ 2. Tegurid, mis halvendavad asünkroonmootorite võimsustegurit 139
§ 3. Väiksema võimsusteguriga elektrimootorid 141
§ 4. Võimsusteguri vähenemist põhjustavad kasutamistingimused 142
§ 5. Võimsusteguri parendamise viisid 142

VII peatükk. **Elektrimootorite juhtimis- ja kaitseaparatuur**

§ 1. Üldmõisted 147
§ 2. Käsitsijuhtimisaparatuur 148
§ 3. Automaatjuhtimisaparatuur 154
§ 4. Elektrimootorite automaatkaitse 160

VIII peatükk. **Elektriajamite juhtimine**

§ 1. Üldmõisteid 164
§ 2. Mõningaid määratlusi ja elektriajamite automaatjuhtimislülituste skeemidel esinevaid tingmärke 165
§ 3. Elektrimootorite käivituse ja pidurduse automatiseerimise lülitusi ja põhimõtteid 175

IX peatükk. **Elektriajami valimine**

§ 1. Elektrimootori valimine ja tema võimsuse kontrollimine koormuse iseloomu järgi 185
§ 2. Elektrimootori vooluliigi ja pinge valimine 186
§ 3. Elektrimootori valimine, arvestades väikese võimsusega energiaallika mõju . 187
§ 4. Elektrimootori valimine pöörlemissageduse järgi 193
§ 5. Elektrimootori valimine sõltuvalt keskkonnatingimustest 195
§ 6. Mõned eriotstarbelised elektrimootorid ja -ajamid 197

TEINE OSA. **ELEKTRIENERGIA RAKENDAMINE PÕLLUMAJANDUSES**

X peatükk. **Looma- ja linnukasvatuse elektromehhaniseerimine ja automatiseerimine**

§ 1. Üldandmed 200
§ 2. Veevarustuse elektrifitseerimine 201
§ 3. Söödavalmistuse ja -jaotamise elektromehhaniseerimine 207
§ 4. Lehmalüpsi elektromehhaniseerimine 219
§ 5. Piima esmastöötlemise elektromehhaniseerimine 226
§ 6. Elektromehhaniseeritud vedu loomafarmides 229
§ 7. Lammaste elekterpügi 241
§ 8. Linnukasvatuse elektromehhaniseerimine 247
§ 9. Looma- ja linnukasvatuse elektromehhaniseerimise tehnilis-majanduslikud andmed 250

XI peatükk. **Taimekasvatuse automatiseerimine ja elektromehhaniseerimine**

§ 1. Sovhooside ja kolhooside teraviljapuhastus-kuivatuspunktide elekterkäitus ja automatiseerimine 252
§ 2. Liikuvate põllumajandusmasinate elekterkäitus 261
§ 3. Tööde elektrifitseerimine köögivilja kasvatamisel toitelahustes 268

XII peatükk. **Elekterkäitus remonditöökodades ja abikäitistes**

§ 1. Tööpinkide elekterkäitus 272
§ 2. Auto- ja traktorimootorite teimistendide elekterkäitus 276
§ 3. Jahu- ja kruubitööstusmasinate elekterkäitus 286
§ 4. Puidutöökodade tööpinkide elekterkäitus 295
§ 5. Tellise- ja katusekivitootmismasinate elekterkäitus 307

XIII peatükk. **Põllumajanduslikud elektrisoojendusseadmed**

§ 1. Elektriveesoojendid ja -aurutid 318
§ 2. Elektrikalorifeerid 325
§ 3. Katmikalade ja kasvuhoonete elektersoojendus 326
§ 4. Inkubaatorid ja võõrasemad 333
§ 5. Elekterkaarkeevitus 339
§ 6. Metallide induktsioonkuumutus 346
§ 7. Põllumajandussaaduste dielektriline kuumutus 354

XIV peatükk. **Elektervalgustus**

§ 1. Põhisuurused ja nende mõõtühikud 358
§ 2. Valgustusseadmete üksikosad 359
§ 3. Valgustuse liigid 362
§ 4. Valgustuse arvutamine 363
§ 5. Põllumajandusmasinate valgustus 366

XV peatükk. **Elektrienergia põllumajandusliku tootmise bioloogilistes protsessides ja tehnoloogias**

§ 1. Kunstlik päev lindlates 367
§ 2. Taimede kasvatamine kunstlikul valgustusel 369
§ 3. Ultraviolettkiirguse rakendamine 378
§ 4. Infrapunakiirguse rakendamine 391
§ 5. Loomade elektrikarjus 396

XVI peatükk. **Põllumajanduslike elektriseadmete ohutustehnika**

§ 1. Üldmõisted 399
§ 2. Maandamine 400
§ 3. Esmaabi elektrivoolust kahjustatule 401
Lisa 1...15 . . . . . 403...420
Kirjandus 421

Leitud trükivead

lk.	Rida	On trükitud	Peab olema
98	1. ülalt	$+\sqrt{M_2(M_1-M_2)t_1+\dots}$	$\overline{+M_2(M_1-M_2)t_1+\dots}$
98	2. ülalt	$+\sqrt{16\pi^4T_{em}^4t_1)+\dots}$	$\overline{+16\pi^4T_{em}^4t_1)+\dots}$
98	3. ülalt	$\cdot\sqrt{\left(e^{\frac{2t_2-t_1}{T_{em}}}-\dots\right.}$	$\overline{\cdot\left(e^{\frac{2t_2-t_1}{T_{em}}}-\dots\right.}$
98	11. ülalt	$+\sqrt{2,5\pi^2y^2+\dots}$	$\overline{+2,5\pi^2y^2+\dots}$
98	12. ülalt	$\cdot\sqrt{\left(e^{y\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}-\dots\right.}$	$\overline{\cdot\left(e^{y\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}-\dots\right.}$

Tell. nr. 3954

Г. И. Назаров, Н. П. Олейник, А. П. Фоменков, И. М. Юровский. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА. (Основы электропривода и применение электрической энергии в сельском хозяйстве). На эстонском языке. Оформление обложки Э. Тали. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja J. Ristoja. Kunstiline toimetaja R. Kelu. Tehniline toimetaja A. Muna. Korrektorid M. Pall ja S. Türn. Laduda antud 27. VI 1969. Trükkida antud 18. III 1970. Läti NSV Ligatne Paberivabriku trükipaber nr. 1. 70 × 108/16. Trükipoognaid 26,75. Tingtrükipoognaid 37,45. Arvestuspoognaid 34,78. Trükiarv 2500. Tellimuse nr. 3954. Hans Heidemanni nim. Trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. II.

Hind rbl. 1.42

B
2283
37114

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00543390 1

B
2283
77114

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00543390 1

Põllumajanduse elektrifitseerimine

G. NAZAROV · N. OLEINIK · A. FOMENKOV · I. JUROVSKI

Põllumajanduse elektrifitseerimine

