



Л. Г. ТАЛВЕ

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ
РАБОЧЕЙ ЕДИНИЦЫ
ШТАНГОВОЙ КРЕПИ

Таллин
1969

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра горного дела

Л.Г. Т а л в е

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ
РАБОЧЕЙ ЕДИНИЦЫ
ШТАНГОВОЙ КРЕПИ

5-118852

Таллин
1969

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

238841

ARHIIVKOGU

Отв. ред. Х.Арукюла

Сдано в печать 25 сентября 1969 г.
Бумага 60x84/16. Печ.л.2,5. Усл.печ.л.2,32
Тираж 300. МВ-09177. Зак.№371 Ротапринт ТПИ
Таллин, Пикк ялг 14
Цена 8 коп.

В в е д е н и е

На шахтах и рудниках Советского Союза все шире применяется штанговая крепь. В связи с этим и возрастает объем экспериментальных работ по испытанию штанг. Из-за отсутствия единой методики испытания, как правило, результаты испытаний, выполненных в различных бассейнах, не сопоставимы. Такое положение увеличивает необоснованно объем необходимых экспериментальных работ по испытанию, снижая научное качество их результатов и в конечном счете затормаживает темпы и эффективность внедрения штанговой крепи как одной из наиболее совершенных видов горной крепи.

Настоящая методика была разработана на основе обобщения отечественного и заграничного опыта (США, ФРГ, Франции) по составлению методических указаний для испытания штанговой крепи. При составлении методики были использованы материалы испытания импортных штанг (фирма Бейлисс) на сланцевых шахтах, отличающихся высоким качеством изготовления. Необходимые установочные параметры были обеспечены путем применения специального установочного инструментария фирмы.

В методике предлагают параметры, характеризующие объективно работу штанговой крепи и обеспечивающие сопоставимость результатов испытания различных типов штанг в разных горно-геологических условиях. Работоспособность штанг оценивают в зависимости от установочных параметров по эталону, равному 1000 дж (100 кгм).

Данная методика была использована начиная с 1961 г. для оценки эффективности работы штанг типа СКШ на сланцевых шахтах Эстонского месторождения и фосфоритном руднике Маарду. В 1967 году она была применена институтами ПечорНИУИ и НИПИГормаш при испытании штанговой крепи в местных бассейнах.

В настоящем издании методики использована международная система СИ единиц измерения.

I. Общие требования к методике испытания штанг

В известных методиках испытания штанговой крепи принято за основу испытания исследование характеристик нагружения штанг [Standard Test of Rock Bolting, 1959; Richtlinien für den Ankerbau, 1960; Югон, Кост, 1962; Аллик, 1964; Семевский и др., 1965]. Но указанные методики испытания не обеспечивают сопоставимость результатов при различных конструкциях крепи и геологических условиях.

Эффективность применения штанговой крепи зависит от многих факторов, из которых основное место занимают горно-геологические условия и конструктивное исполнение применяемых штанг. Поэтому наиболее объективную характеристику о работе определенных конструкций штанг можно получить при испытаниях, имитирующих рабочую обстановку штанговой крепи в конкретных горно-геологических условиях. При этом породу и крепь исследуют как единую систему, обладающую определенными упруго-пластическими и реологическими свойствами. При штанговой крепи рассматриваем штангу и окружающую ее породу элементарной самостоятельной системой, называемой ниже рабочей единицей (РЕ) штанговой крепи.

Предложенная методика разработана на основе энергетического принципа с учетом фактора времени [Талве, 1963].

При испытаниях нагружение штанг осуществляется искусственно по определенной программе нагружения. Изменение состояния рабочей единицы (РЕ) штанговой крепи, т.е. системы порода-штанга, протекающее фактически в трехразмерном пространстве усилие-смещение-время ($P\delta t$), согласно данной методике описывается проекцией характеристики нагружения, т.е. зависимостью между усилием и смещением внешнего конца стержня в плоскости усилие-смещение ($P\delta$) [Талве, 1962].

Сопоставимость результатов испытаний обеспечивается при строгом соблюдении требований методики с указанием физико-механических свойств пород и конструктивных параметров испытываемых образцов крепи. На основе испытания определяют основные и вспомогательные параметры РЕ штанговой крепи, которые характеризуют поведение системы порода-крепь, т.е. поведение определенной конструкции штанг в конкретных горно-геологических условиях. Методика практически обеспечивает объективное определение результатов испытаний, а также получение обоснованной оценки эффективности применения определенных конструкций штанг в данных горно-геологических условиях. Результаты испытаний, полученные по предлагаемой методике, являются сопоставимыми и представительными независимо от типа штанг и горно-геологических условий, а также позволяют уточнить конструктивные и паспортные параметры штанговой крепи. Все определяемые параметры имеют конкретное физическое содержание. Качество испытаний зависит в основном от совершенности применяемых приборов и точности соблюдения методических указаний при экспериментальных работах.

Приведенная методика применима также при определении возможной области использования известного типа штанговой крепи. Например, на шахте, на которой этот вид крепи раньше не применялся, необходимо выполнить испытание определенной конструкции штанг, параметры которой нам известны

(определены по данной методике при известных горно-геологических условиях). При окончательном решении вопроса целесообразности применения штанговой крепи в изучаемых условиях основным критерием является сравнение цифровых величин основных параметров РЕ известной конструкции штанги, полученных при испытаниях в известных и в изучаемых горно-геологических условиях.

Работоспособность штанги зависит в значительной степени от параметров установки, поэтому при испытаниях необходимо обратить должное внимание на уточнение указанных параметров.

При испытаниях штанговой крепи следует ориентироваться только на применение измерительных приборов, которые практически пассивно участвуют в динамике энергетического баланса РЕ штанговой крепи [Талве, 1963].

2. Основные параметры РЕ штанговой крепи

В условиях нормальной работы штанговой крепи встречаемые усилия и смещения являются ограниченными величинами, поэтому необходимую сопоставимость можно обеспечить путем применения определенного эталона в Р δ - координатах.

Принимаем эталон прямоугольной формы, высота которой выражает усилие, основание - смещение (податливость) и площадь соответственно работоспособность. Целесообразным является принимать за основу эталона - смещение $\delta = 10$ мм, за высоту его усилие $P = 100$ кн, следовательно, площадь эталона равна работе $W = 1000$ дж. Этим не исключается возможность местного применения эталонов других размеров, что в определенных случаях может оказаться обоснованным.

В качестве основных параметров РЕ рекомендуем применять понятия, учитывающие практически все основные факторы, влияющие на ее работу:

- а) номинальная нагрузка,
- б) работоспособность,
- в) упругая податливость,
- г) пластическая податливость.

Нагрузка, испытываемая РЕ, является функцией податливости (и времени), следовательно практический интерес представляет ее сопротивляющая способность только в пределах податливости, не превышающая величину допускаемого смещения δ_{ϵ} контура выработки относительно прослойки, служащего для закрепления замков штанг.

Во многих случаях на практике смещение отдельных прослоек заштангованной кровли относительно друг друга в пределах рабочей длины штанги не превышает 10 мм. В то же время предельная податливость $\delta_{10} = 10$ мм служит эталоном для сравнения работы штанговой крепи в разных условиях с целью получения сопоставимых данных. Номинальной нагрузкой назовем фактическое усилие, испытываемое РЕ при податливости 10 мм через 72 часа после установки. Номинальная нагрузка P_n определяется расчетным путем по эмпирическому уравнению

$$P_n = (1 - k_1 k_2) P_{10}, \text{ кН}, \quad (1)$$

- где k_1 - коэффициент пластической податливости РЕ учитывает конструкцию штанги и физико-механические свойства горных пород;
- k_2 - коэффициент, учитывающий уменьшение несущей способности штанги от разгружающих факторов (ползучесть и др.);
- P_{10} - усилие предельное, развиваемое при испытаниях при податливости 10 мм, учитывает параметры установки штанговой крепи, т.е. усилие P'_c закрепления замка и усилие P'_0 предварительного натяжения.

Отмечаем два более характерных способа нагружения РЕ в зависимости от скорости нагружения (рис. 1):

1. Опытное (искусственное) нагружение определенной скоростью (по кривой 0-5), чему соответствует при податливости δ_{IO} величина нагрузки P_{IO} (путь 1'-2-3-4).

2. Естественное нагружение (по кривой 0-5'), протекающее в общем случае более медленно. При этом податливости δ_{IO} соответствует усилие P_n (путь 1' - 4').

Разные величины усилия при одинаковой податливости, вызванные разной скоростью нагружения, объясняются в основном реологическими свойствами пород при работе штанговой крепи. В результате ползучести, как фактора времени, величина усилия P_{IO} постепенно уменьшается пока будет равна P_n (путь 4 - 4').

Таким образом, конечная величина усилия не зависит от скорости нагружения, хотя количество затраченной работы при нагружении разное, т.е. работоспособность РЕ уменьшается благодаря реологическим свойствам горных пород.

При опытном нагружении энергия W_{IO} сопротивления штанги прямо пропорциональна площади 0' - 1' - 2-3-4-I2, а при естественном нагружении энергия W_{IO} прямо пропорциональна площади 0'-1'-4'-I2, таким образом

$$W_{IO} > W_{IO}'.$$

Энергия W_C , прямо пропорциональная площади 0-I-0', затрачивается в процессе установки при закреплении замка усилием $P_C^2 = P_0^2$.

Работоспособность выражаем через коэффициент работоспособности. Энергию W_{IO} , затраченную при опытном нагружении характеризует коэффициент k_n :

$$k_n = \frac{W_{IO}}{W_n}, \quad (3)$$

где W_n = энергия эталона 100 кн x 10 мм = 1000 дж.

Энергия W'_{10} , затраченная при естественном нагружении, характеризуется коэффициентом k'_n :

$$k'_n = \frac{W'_{10}}{W_n}. \quad (4)$$

Так как $W_{10} > W'_{10}$, следовательно $k_n > k'_n$.

В качестве основного параметра принимаем k_n , определяемый по результатам испытаний.

При условии $P_{10} \leq 100$ кн, коэффициент k_n определяют по уравнению

$$k_n = 0,01 W_{10}. \quad (5)$$

В общем случае по коэффициенту работоспособности можно обратным путем определить энергию W_{10} сопротивления штанги при опытном нагружении

$$W_{10} = 100 k_n, \text{ дж}. \quad (6)$$

Коэффициент λ_1 упругой податливости РЕ штанговой крепи характеризует упругие свойства РЕ штанговой крепи, т.е. системы порода-штанга. Его цифровое значение выражает упругую податливость системы в (мм) при нагружении усилием 100 кн. λ_1 определяется по уравнению

$$\lambda_1 = \frac{\delta_{be}}{P_b}, \frac{\text{мм}}{\text{кн}}. \quad (7)$$

Коэффициент k_1 пластической податливости штанговой крепи характеризует пластические свойства РЕ. Его цифровое значение показывает во сколько раз общая податливость (упругая + пластическая) системы превышает упругую податливость той же системы (порода-штанга).

Таким образом, коэффициент пластической податливости показывает, сколько раз податливость при первом нагружении больше податливости при разгрузении. Определяется по уравнению

$$k_1 = \frac{\lambda_1^2}{\lambda_1}, \quad (8)$$

где λ_1^2 - коэффициент податливости при нагружении,
 λ_1 - коэффициент упругой податливости при разгрузке.
 нии.

Принимая, что усилие, испытываемое штангой, в пределах податливости 10 мм изменяется практически прямолинейно от P_0 до P_n , тогда уравнение (2) принимает упрощенный вид

$$W_{10} \approx 5 (P_0 + P_n), \text{ дж.} \quad (9)$$

Подставляя в уравнение (9) эмпирическое выражение (1) номинальной нагрузки получим:

$$W_{10} \approx 5 \left[P_0 + (1 - k_2) \frac{\lambda_1^2}{\lambda_1} P_{10} \right], \text{ дж.} \quad (10)$$

В полученном виде уравнение (10) дает связь между основными параметрами РЕ штанговой крепи. Работоспособность штанговой крепи возрастает при:

- а) улучшении параметров установки (увеличение P_0 и P_{10});
- б) увеличении номинальной нагрузки P_n ;
- в) увеличении упругих свойств системы порода-штанга;
- г) уменьшении пластических свойств системы.

3. Испытание штанговой крепи

Испытанию подвергается партия штанг определенной конструкции, состоящая из 20 образцов. Длина испытываемых штанг принимается одинаковая (например 1,0 м). При испытаниях выполняют отдельные операции в нижеприведенной последовательности [Талве, 1965].

1. Определение горно-геологических параметров.

а) Параллельно оси РЕ пробуривают разведочную скважину с целью получения керна длиной не менее 0,2 м больше длины испытываемых штанг. Выбуривание керной диаметром 43 мм в породах крепостью $\varphi \leq 10$ можно осуществить приспособлением, разработанным Институтом сланцев.

б) Составление геологического разреза РЕ с указанием обозначений и мощностей и крепости отдельных прослоек.

в) Определение физико-механических свойств закрепляемых пород.

г) Осмотр поверхности стенки скважины оптическим прибором. Характеристика шероховатости закрепляемой поверхности выработки в целях оценки условий контакта между породой и опорной плиткой. Проведение характеристики трещиноватости и водообильности закрепляемых пород.

2. Определение конструктивных параметров и качества изготовления испытываемой штанги. Проверка соответствия геометрии и размеров деталей штанг техническим условиям изготовления.

3. Бурение скважин под штанги.

Диаметр скважин принимается в зависимости от типа испытываемых штанг. При первой серии испытания целесообразно применять диаметр скважин под штанги в некотором увеличенном диапазоне, примерно 1-3 мм больше диаметра замка.

После обработки результатов испытаний первой серии определяют оптимальный диаметр скважины и при повторном испытании той же конструкции принимается только оптимальный диаметр.

Поверхность вокруг устьев скважин выравнивают специальной фрезой, благодаря чему достигается более высокое качество испытаний, и обеспечивается перпендикулярность поверх-

ности устья относительно оси скважины. Для выравнивания можно применять, например, фрезу Института сланцев.

При отсутствии возможности выравнивания поверхности устьев скважин достаточная параллельность направлений развиваемого усилия и оси штанги достигается при помощи сферической опорной плитки прибора. В этом случае увеличивается погрешность при измерении смещений, вызванная шероховатостью кровли и, следовательно, неравномерным распределением усилия по окружности опорной плитки.

Диаметр скважин измеряют в месте закрепления замка. При измерениях можно применять, например, прибор ПИШ (конструкции КузНИУИ).

4. Установка штанг т.е. закрепление замка и предварительное натягивание штанг. Штанги устанавливаются от места ведения взрывных работ на расстоянии не менее 50 м.

Т а б л и ц а I

Параметры установки отдельных групп штанг
в зависимости от диаметра стержня

Группа испытываемых штанг	Параметры установки штанг					
	Усилие закрепления замка P_c , кН			Усилие натяжения P_0 , кН		
	16 мм	20 мм	24 мм	16 мм	20 мм	24 мм
I	50	80	100	30	50	60
II	50	80	100	30	50	60
III	30	50	60	30	50	60
IV	30	50	60	30	50	60

При установке партия, состоящая из 20 испытываемых штанг, разбивается на 4 группы по 5 штанг, причем штанги каждой группы устанавливаются с разными параметрами, приведенными в таблице I, в зависимости от диаметра стержня штанги.

У штанг первой и второй группы замок закрепляется усилием, равным примерно ожидаемой номинальной нагрузке P_n при податливости 10 мм. У штанг третьей и четвертой групп замок закрепляется усилием, равным усилию предварительного натяжения P'_0 , причем последнее принимается

$$P'_0 \approx 0,6 P_n. \quad (II)$$

Всем штангам сообщают одинаковое предварительное натяжение, равное P'_0 . Штанги первой и второй групп устанавливаются при помощи домкрата, в качестве которого можно применять механический или гидравлический домкрат, который крепится к внешнему концу стержня, например, домкраты SKT-15, ПА-3 или др.

Домкрат должен обеспечить высокую точность определения усилия и соответствующего ему смещения. Ниже даются методические указания для повышения точности замеров при применении механического домкрата.

Необходимое предварительное натяжение штанг первой или второй групп обеспечивается применением динамического ключа, например типа М-40 НИПИГормаша.

Штанги третьей и четвертой групп устанавливаются при помощи динамометрического ключа, чем достигается, что усилие P'_0 закрепления замка равняется усилию P'_0 предварительного натяжения.

При установке штанг первой и второй групп снимаются первичная и вторичная характеристики P_E штанговой крепи, т.е. зависимость между усилием и смещением внешнего конца штанги при нагружении и при разгрузении.

Нагрузку, развиваемую домкратом, определяют по показанию манометра гидросистемы прибора. При механическом домкрате смещение внешнего конца стержня определяют по смещению

шпинделя относительно корпуса домкрата, что фиксируется по углу поворота ходовой гайки.

Для определения соответствующего смещения, в начале и в конце операции закрепления замка замеряют местонахождение конца шпинделя относительно ходовой гайки прибора. Промежуточное смещение определяют по шагу резьбы шпинделя. Величины усилия и смещения определяют через каждый поворот ходовой гайки прибора на 90° .

При определении усилия первый отсчет снимается непосредственно после поворота ходовой гайки и второй после некоторой стабилизации усилия, но по возможности через равные интервалы времени (примерно через 5 сек.). Первая величина усилия является основой при построении характеристики нагружения.

После закрепления замка производят разгрузку домкрата. При этом замеряют также усилие, но через каждый поворот ходовой гайки на 45° . Последний отсчет снимается при усилии не менее 3-5 кн.

При испытаниях клинощелевых штанг, замки последних закрепляются способом, принятым на месте, а предварительное натяжение дают согласно таблице I.

5. Нагружение штанг. К нагружению приступают не раньше, чем через 72 часа после установки штанг, чтобы уменьшить влияние фактора времени на точность результатов испытаний. Перед нагружением у штанг второй и четвертой групп снимается имевшееся натяжение путем отвинчивания гайки.

При нагружении штанг выполняют все операции аналогично описанному выше закреплению замка домкратом. Более высокая точность обеспечивается при обработке результатов испытаний, тогда, когда первые 10 отсчетов снимают через поворот ходовой гайки на 45° .

Нагрузку увеличивают до тех пор, пока:

а) давление в гидросистеме не уменьшится на $2 \cdot 10^{-2}$ н/м² по сравнению с максимальным достигнутым значением;

б) смещение внешнего конца стержня происходит на величину более 10 мм без дополнительного увеличения усилия;

в) не будет достигнуто максимальное усилие P_{\max} , превышающее ожидаемую номинальную нагрузку P_n примерно в 1,4 - 1,5 раза.

$$P_{\max} \approx (1,4 \div 1,5) P_n. \quad (12)$$

Усилие P_{\max} принимается в зависимости от диаметра стержня согласно таблицы 2.

Т а б л и ц а 2

Максимальное усилие нагружения штанг в зависимости от диаметра стержня

Диаметр стержня, мм	Максимальная нагрузка P_{\max} , кн
16	70 - 80
20	110 - 120
24	150 - 160

После нагружения производят разгрузку домкрата до усилия около 5 кн с последующим нагружением на двойной угол (ходовой гайки) по сравнению с разгрузкой. При этом измеряют величины усилия через каждый поворот ходовой гайки на 45° .

6. По результатам испытаний каждой штанги составляют таблицу и характеристики нагружения, т.е. кривые, указывающие зависимость между усилием и соответствующим смещением внешнего конца стержня.

При графическом изображении хода нагружения в координатах $P\delta$ откладываются смещение внешнего конца стержня по оси абсцисс и развиваемое прибором усилие по оси ординат в первом квадранте (масштабом 1 кн = 1 мм и смещение 1 мм = 5 мм).

Согласно принятому масштабу на графике tg угла наклона всех характеристик 2 раза больше расчетного tg соответствующего угла.

В результате испытаний предполагается получение следующих типовых форм характеристик нагружения (рис. 2).

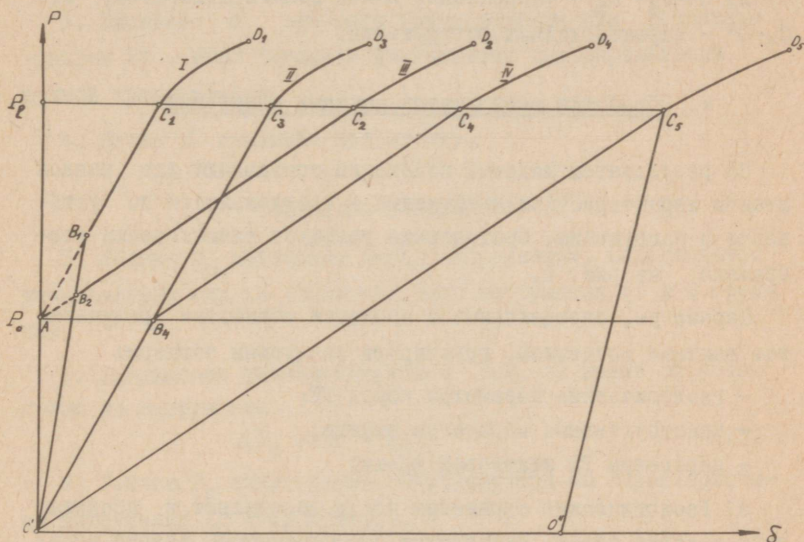


Рис. 2. Типовые характеристики нагружения РЕ штанговой крепи.

а) $O'-B_1-C_1-D_1$ - замок штанги закреплен домкратом и штанга имеет перед нагружением предварительное натяжение (I группа)

$$P_c^* > P_0^* ;$$

б) $O'-B_2-C_2-D_2$ - замок штанги закреплен и дано предварительное натяжение путем вращения гайки на внешнем конце стержня (III группа)

$$P_C^0 = P_O^0 ;$$

в) $O^0-C_3-D_3$ - замок закреплен домкратом, натяжение снято перед нагружением (II группа);

г) $O^0-B_4-C_4-D_4$ - замок штанги закреплен путем вращения гайки, натяжение снято перед нагружением (IV группа);

д) $O^0-C_5-D_5$ - закрепление замка штанги домкратом, где C_5-O^0 - характеристика разгрузки.

4. Обработка результатов шахтных испытаний

По результатам шахтных испытаний составляют для каждой штанги характеристики нагружения - в отдельности по установке и нагружению. Составление графиков схематически изображено на рис. I.

Параметры, определяемые в процессе обработки результатов шахтных испытаний, группируют следующим образом:

- геологические параметры пород PE;
- конструктивные параметры штанги;
- параметры PE штанговой крепи;

а) Геологические параметры пород определяют в пределах зоны влияния штанг. Приводится геологический разрез пород с кратким описанием и указанием мощности и крепости отдельных слагающих слоев, характеристика трещиноватости, водообильности и др.

б) Конструктивные параметры штанги определяют согласно примеру (приложение).

в) Параметры PE штанговой крепи, которые разделяются на параметры установки, нагружения и основные, определяют в следующем порядке.

Параметры установки

1. Усилие P_C^* закрепления замка при установке штанги. Определяется по максимальной величине усилия P_{\max} , развиваемого в процессе закрепления замка.

2. Усилие P_0^* натяжения штанги при установке. Определяется торкметром или по показанию манометра установочного станка.

3. Смещение δ_C' внешнего конца стержня при установке усилием P_C^* . Этот параметр учитывается при определении нужной длины штанги.

4. Длина d скважины под штангу.

Параметры нагружения

5. Усилие P_0 натяжения перед нагружением. Определяется динамометром или по характеристике нагружения (I и III группы).

6. Уменьшение усилия натяжения ΔP_0 за время от установки до нагружения

$$\Delta P_0 = P_0^* - P_0. \quad (13)$$

7. Усилие P_C закрепления. Определяется по характеристике нагружения (II и IV группы).

8. Усилие P_u перехода. Определяется по характеристике нагружения (I и III). Усилением перехода обозначается минимальная величина нагрузки, при которой усилие сопротивления замка штанги равняется усилию, развиваемому домкратом.

9. Усилие P_{10} предельное, соответствующее смещению δ_{10} внешнего конца стержня, равному 10 мм.

10. Усилие P_{\max} максимальное при нагружении.

II. Уменьшение максимального усилия ΔP_{\max} при нагружении за 5 сек.

12. Усилие P_0 перед разгрузением.

13. Несущая способность штанги P_{ll} при максимальном допусаемом смещении внешнего конца стержня. Определяется по эмпирическому уравнению

$$P_{ll} = (1 - k_1 k_2) P_{\max}. \quad (14)$$

14. Податливость δ_u РЕ под действием усилия P_u перехода (I и II).

15. Податливость δ_c при нагружении без натяжения усилием P_c (II и IV).

16. Податливость δ_l штанги при нагружении усилием P_{\max} .

17. Упругая податливость δ_{le} при разгрузении от усилия P_0 .

18. Угол γ наклона I участка характеристики нагружения (у штанг I и III групп), характеризующего изменение напряженного состояния РЕ штанговой крепи.

Угол наклона γ определяется

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{P_u}{10 \delta_u}, \text{ кН/мм.} \quad (15)$$

19. Угол φ' II участка характеристики нагружения, характеризующего изменение ненапряженного состояния РЕ при нагружении

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{P_c}{10 \delta_c}, \text{ кН/мм.} \quad (16)$$

20. Угол φ наклона II участка характеристики нагружения при разгрузении определяется по ветви разгрузения петли 5-6-7-8

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_0}{10 \delta_{le}}, \text{ кН/мм.} \quad (17)$$

21. Коэффициент λ_2 упругой податливости напряженной РЕ штанговой крепи

$$\lambda_2 = \frac{\delta_u}{P_u}, \text{ мм/кН.} \quad (18)$$

22. Коэффициент упругой податливости ненапряженной РЕ

$$\lambda_1' = \frac{\delta_c}{P_c}, \text{ мм/кн} \quad (19)$$

23. Коэффициент k_{ne} упругой работоспособности штанговой крепи (по шкале 100 кн x 10 мм). Определяется по уравнению (при $P_{10} \leq 100$ кн)

$$k_{ne} = \frac{P_{10} \delta_{\ell e}}{2 W_n}. \quad (20)$$

Измеряется в относительных единицах.

Основные параметры

24. Номинальная нагрузка P_n . Определяется по эмпирическому уравнению (1)

$$P_n = (1 - k_1 k_2) P_{10}.$$

25. Коэффициент k_n работоспособности штанговой крепи. Определяется по характеристике нагружения как отношение энергии W_{10} сопротивления замка при нагружении штанги до смещения 10 мм к общей площади эталона (1000 Дж). При $P_{10} \leq 100$ кн определяется по уравнению (5)

$$k_n = 0,01 W_{10}.$$

Измеряется в относительных единицах.

26. Коэффициент λ_1 упругой податливости штанговой крепи (при разгрузке). Определяется уравнением (7)

$$\lambda_1 = \frac{\delta_{\ell e}}{P_{\ell}}, \text{ мм/кн}.$$

27. Коэффициент k_1 пластической податливости штанговой крепи. Определяется, по уравнению (8)

$$k_1 = \frac{\lambda_1'}{\lambda_1}.$$

Все приведенные выше параметры представляют в сводной таблице для каждой испытанной штанги. По каждой группе вы-

водят средние величины, на основе которых определяют средние показатели по РЕ и строят характеристики нагружения испытанных конструкций штанг. При определении основных параметров РЕ номинальную нагрузку и коэффициент работоспособности принимают по I группе, а коэффициенты упругой и пластической податливости, средние величины по группам (приложение). Обработку результатов испытаний предусмотрено выполнить на логарифмической линейке.

5. Оценка работоспособности и применяемости определенных конструкций штанговой крепи

Обработка данных шахтных испытаний определенной конструкции штанг в конкретных горно-геологических условиях, выполненных по предложенной методике, начинается составлением характеристик нагружения для каждой штанги испытанной партии (20 шт.). Результаты, определяемые в процессе обработки данных шахтных испытаний, группируют следующим образом [Талве, 1966]:

1. геологическая характеристика закрепляемых пород;
2. конструктивные параметры с кратким описанием конструкции и со схемой (или снимком) штанги;
3. параметры рабочей единицы штанговой крепи.

На основе обсуждения определяемых параметров, указанных выше, даются оценки по работоспособности РЕ и применяемости испытанной конструкции штанги в конкретных горно-геологических условиях.

Геологическую характеристику пород приводят в пределах зоны расположения штанг. Прилагают геологический разрез закрепляемых пород с кратким описанием и указанием основных физико-механических показателей отдельных слагающих

слов (мощность, крепость и др.). Дается характеристика трещиноватости и плоскостей расслоения, обводненности пород и скважин, пробуренных под испытываемые штанги и т.п. На геологическом разрезе указывается также расположение штанги относительно контура выработки.

В качестве конструктивных параметров штанг принимаются размеры и геометрия отдельных деталей штанги-стержня, распорной муфты, опорной плитки и характеристика материалов соответствующих деталей. Указывается приспособленность их к повторному использованию, марка и завод-изготовитель. При описании конструкции характеризуют также технологию установки и степень механизации ее. На схеме штанги указываются внешний и внутренний (замок) ее концы. Последний в двух проекциях.

Параметрами РЕ штанговой крепи приводятся согласно упомянутой методике параметры установки, нагружения и основные параметры. Параметры РЕ представляют в сводной таблице для каждой испытанной штанги. По каждой группе штанг выводят средние величины, на основе которых определяют средние показатели по РЕ и строят обобщенные характеристики нагружения испытанной конструкции штанги.

Оценку работоспособности испытанной конструкции штанг в конкретных горно-геологических условиях осуществляют по основным параметрам РЕ. При определении основных параметров РЕ принимают номинальную нагрузку и коэффициент работоспособности по первой группе, а коэффициенты упругой и пластической податливости — как средние величины по группам испытываемых штанг. Основные параметры РЕ штанговой крепи имеют нижеследующее физическое содержание и пределы измерения:

а) Номинальная нагрузка P_n — это фактическая нагрузка, испытываемая РЕ через 72 часа после установки при подат-

ливости штанги на 10 мм в условиях, где практически отсутствует деформирование толщи заштангованных пород. Выражаясь иначе - P_n является несущей способностью штанги при податливости ее на 10 мм с учетом реологических свойств горных пород. Допускается колебание величины номинальной нагрузки в пределах 35-70% от величины разрывного усилия полного сечения стержня штанги. При меньшем значении номинальной нагрузки имеется дело с нерациональным использованием материала штанги и при большем значении ее не обеспечивается достаточное качество крепления (опасность разрыва штанги в процессе работы).

б) Коэффициент k_n работоспособности РЕ выражает в долях единицы отношение фактической работы сопротивления штанги при нагружении к работе эталона 1000 дж без учета реологических свойств горных пород (при податливости 10 мм или нагрузке 100 кн). Коэффициент работоспособности в зависимости от диаметра стержня штанги может колебаться в пределах: при диаметре 16 мм - от 0,40 до 0,60 и при большем диаметре - 0,50 - 0,90. Значение коэффициента ниже минимального предела свидетельствует о недостаточной работоспособности штанги. При этом величины номинальной нагрузки и коэффициенты работоспособности сравнимые при штангах равного диаметра. При штангах разного диаметра номинальная нагрузка и коэффициент работоспособности позволяют определить отношение работоспособности сравнимых штанг. Уменьшенную работоспособность определенной конструкции можно компенсировать до некоторой степени уплотнением сетки расположения штанг. При этом увеличивается себестоимость крепления, но несколько улучшаются условия поддержания пород кровли между штангами.

в) Коэффициент λ , упругой податливости выражает цифровую величину упругой податливости системы порода-штанга в мм при нагружении усилием 100 кн. Коэффициент увеличивается по мере увеличения длины и уменьшения диаметра стержня штанги. Например, при штангах диаметром 20 мм и при длине 1,0 - 1,5 м коэффициент упругой податливости колеблется в пределах $2 - 5 \cdot 10^{-2}$ мм/кн.

Упругая податливость штанги имеет большое значение при некоторой компенсации потерь величины натяжения штанги от разгружающих факторов (взрывные работы, ползучесть горных пород и др.). Упругие свойства РЕ можно увеличить дополнительно специальными приемами (применение шайбы Гровера, стержень штанги изгибают по винтовой линии в пределах контура скважины и др.).

г) Коэффициент k_I пластической податливости показывает, сколько раз при нагружении штанги (без предварительного натяжения) величина общей податливости РЕ превышает величину упругой податливости. Коэффициент колеблется в пределах 1,1 - 2,5. Значение коэффициента, равное 1,0, обозначает абсолютную упругость системы. При превышении верхнего предела штанга недопустимо "ползет". Пластические свойства РЕ можно относительно уменьшить увеличением упругих свойств системы и улучшением условий сцепления между замком и стенкой скважины, уменьшением удельного давления на распорную муфту и др.

За основу сравнения работоспособности разных конструкций штанг принят принцип относительности, так как отсутствует возможность создания идеальной универсальной конструкции штанги, а можно только создать или выбрать наиболее рациональную конструкцию штанги для конкретных горно-геологических условий.

При сравнении нескольких образцов штанг, наиболее рациональным является та конструкция, у которой величины номинальной нагрузки, коэффициентов работоспособности и упругой податливости максимальные и коэффициент пластической податливости минимальный.

При оценке применимости испытанной конструкции штанги в данных условиях, учитывают, кроме работоспособности, еще технологичность ее изготовления, приспособленность штанги к механизированной установке и повторному использованию. При окончательном решении определяют стоимость крепления на I т добычи или на I м выработки. Приводятся рекомендации для устранения обнаруженных недостатков испытанной конструкции штанги.

Ориентировочную оценку применимости испытанной конструкции штанг в конкретных условиях осуществляют по коэффициенту к эффективной работоспособности PE штанговой крепи, который определяется по формуле

$$k = \frac{10^5 k_n (1 - k_1 k_2)}{F_2}, \quad (21)$$

где F_2 - минимальная площадь сечения стержня, мм².

Результаты испытаний можно ориентировочно оценить по нижеследующей шкале:

- | | |
|---------------|---|
| $k > 250$ | - образцовая, |
| $k = 150-250$ | - допускаемая, |
| $k < 150$ | - недопускаемая (или допускается при соблюдении особых требований). |

Физическое содержание коэффициента к близкое к среднему значению растягивающего напряжения стержня при изменении податливости штанги от 0 до 10 мм (в кн/мм²).

В качестве примера приведены результаты испытания импортных (английских) штанг по данной методике (приложение).

Результаты шахтных испытаний обрабатываются методами математической статистики, например, по предложению канд. техн. наук Б.В. Корякина [Технические указания, 1966]. При необходимости более подробного анализа материалов испытаний можно использовать соображения, приведенные в литературе [Талве, 1962, 1965, 1967].

Испытание клинмуфтовых штанг фирмы
Бейлисс на сланцевых шахтах Эстонии

Место испытания: боковой штрек камерного блока № 3 шахты 10 треста "Эстонсланец".

Тип штанг : Распорные клинмуфтовые.

Время испытания: 20-24 августа 1964 г.

I. Геологическая характеристика пород рабочей единицы, структурный разрез и физико-механические свойства пород

кровли приведены на рис. I и в табл. I. С помощью оптического прибора были установлены плоскости расслоения, из которых практическое значение имеют две по пачке F_3 , шириной по 0,25 мм, и одна по пачке G , шириной 0,5 мм. Поверхность кровли сравнительно ровная. Шероховатость кровли под опорной плиткой была выравнена фрезой. Имеется два основных направления вертикальных трещин - северо-восточное и северо-западное. Штанги были установлены относительно трещин не ближе чем 0,5 м.

Скважины, пробуренные под штанги, отклонялись от вертикали не более 10° . Замки были закреплены в известняковом слое

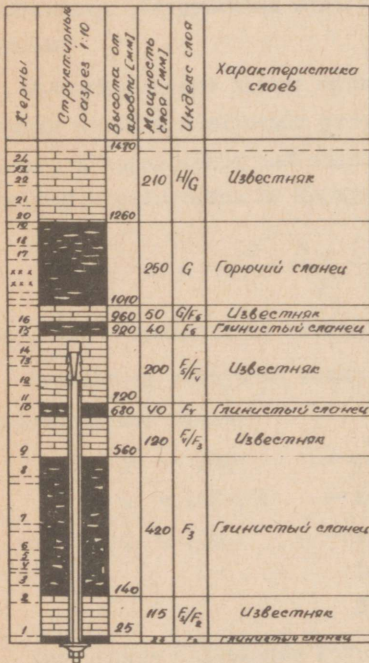


Рис. I. Геологический разрез пород кровли и схема расположения штанги.

Т а б л и ц а I

Показатели физико-механических свойств пород непосредственной кровли на сланцевых шахтах ЭССР (по данным ВНИМИ и Института сланцев)

Индекс	Наименование слоев разреза	Прочность на сжатие $\sigma_{сж}$ Мн/м ²	Прочность на растяжение $\sigma_{р}$ Мн/м ²	Коэф. Пуассона μ	Модуль упругости E, Мн/м ²	Объемная масса ρ , т/м ³	Пористость n , %	Влажность (по сухой массе) W^s , %	Влагоемкость от объема пород, %	Объемная масса (сухая) ρ' , т/м ³
N°	Гор. сланец	23,0	2,6	0,48	$0,24 \cdot 10^4$	-	-	-	-	-
N°/H	Изв. битуминозный	34,6-66,0	3,2-4,7	0,22	$0,13 \cdot 10^5$	-	-	-	-	-
H	Гор. сланец	23,0	2,6	0,48	$0,24 \cdot 10^4$	-	-	-	-	-
H/G	Известняк	44,0-67,5	3,9-8,2	0,30	$0,26 \cdot 10^5$	-	-	-	-	-
G	Гор. сланец	16,0	2,6	0,48	$0,24 \cdot 10^4$	1,70	18,8	12,1	89	1,38
G/F ₅	Известняк	43,0-77,0	3,6-6,2	0,35	$0,19 \cdot 10^5$	2,65	9,8	3,6	88	2,39
F ₅	Глинистый сланец	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F ₅ /F ₄	Известняк	43,0-77,0	3,6-6,2	0,30	$0,19 \cdot 10^5$	-	-	-	-	-
F ₄	Глинистый сланец	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F ₄ /F ₃	Известняк	43,0-77,0	3,6-6,2	0,30	$0,19 \cdot 10^5$	2,65	9,8	3,6	88	2,39
F ₃	Глинистый сланец	16,0-35,0	3,5	0,28	$0,18 \cdot 10^5$	-	-	-	-	-
F ₃ /F ₂	Известняк	26,0	3,5	0,28	$0,18 \cdot 10^5$	2,42	12,8	6,0	99	2,11

F_5/F_4 . Капеза из скважин не наблюдалось. Залегание пласта практически горизонтальное. Вынимаемая мощность пласта 3,35 м. Боковой штрек шириной 4 м располагается на глубине 40 м.

2. Описание конструкции штанги. Испытанная штанга относится к распорным штангам (рис.2). Распорная муфта выполнена в виде гильзы с гладкой поверхностью и с двумя прорезами. Клин на внутреннем конце стержня выполнен путем горячей штамповки. Резьба на внешнем конце штанги накатана. Техническое исполнение образцовое. Штанга устанавливается с помощью установочной трубы и специальным переносным гидравлическим приспособлением фирмы.

Конструктивные параметры штанги
[Handbook of Roof Bolting, 1960]

1. Марка	-
2. Тип	распорная
3. Завод-изготовитель	фирма Бейлисс (Англия)
4. Замок	
конструкция	клиномуфтовая
диаметр	$d_1 = 39$ мм
высота	$h_1 = 140$ мм
площадь проекции распорной муфты	$F_1 = 10,92$ мм ²
Угол конусности	
клина	$\alpha = 2^{\circ}50'$
муфты	$\beta = 2^{\circ}50'$
Резерв смещения клина	$\delta_1 = 60$ мм
5. Стержень	
длина	$l_2 = 900$ мм
диаметр	$d_2 = 19$ мм
резьба	13/16", накатанная
угол наклона резьбы	$2^{\circ}25'$
разрывное усилие	$P_I = 150$ кН

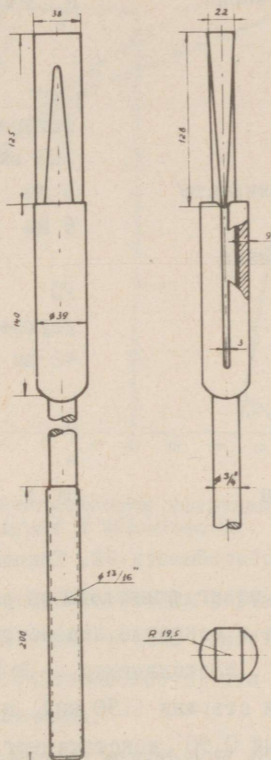


Рис. 2. Схема распорной клинмфтовой штанги фирмы Бейлисс.

допускаемое усилие	$P_2 = 90 \text{ кН}$
натянутая длина	$l_2' = 750 \text{ мм}$
коэф. податливости натянутой части	$\lambda_1 = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ мм/кН}$
мин. площадь сечения	$F_2 = 228 \text{ мм}^2$

6. Опорная плитка	
марка	—
конфигурация	фигурная
диаметр	100 мм
упругая податливость	3 мм
толщина	6 мм
7. Коронка для бурения	
марка	РС
тип	двухперьевая
диаметр	42 мм
8. Материал	
замка	—
стержня	—
опорной плитки	Ст.3

4. Оценка работоспособности РЕ. Типовые характеристики нагружения испытанных штанг приведены на рис. 3 и соответствующие установочные и основные параметры в табл. 2. Номинальная нагрузка P_n , составляющая $\geq 79 \text{ кН}$ или $\geq 52,7\%$ от разрывного усилия стержня (150 кН), и коэффициент работоспособности, равный 0,90, констатируют высокую работоспособность штанги в данных условиях. Коэффициент упругой податливости равняется 0,28. Упругие свойства системы небольшие, что согласуется с ограниченной длиной испытуемой штанги. Пластические свойства РЕ минимальные в результате хорошего сцепления между гладкой и высокой распорной муфтой и стенкой скважины. Это доказано малой величиной коэффициента пластической податливости, равной 1,3.

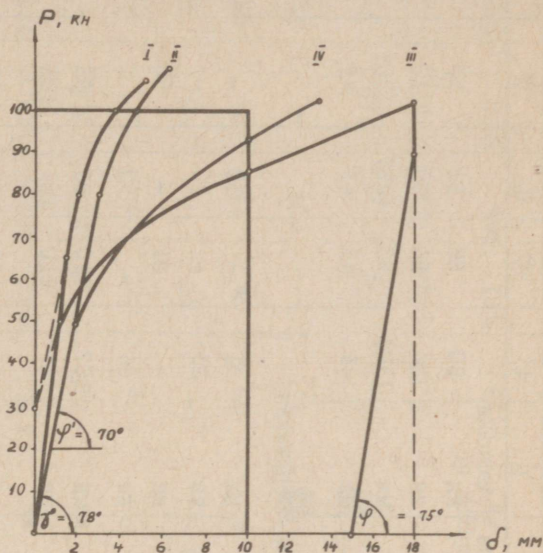


Рис.3. Типовые характеристики нагружения клинбуфтовых штанг в известняках.

Рассуждая по величинам основных параметров РЕ, можно сделать вывод, что испытанная штанга имеет в условиях сланцевых шахт высокую работоспособность, что соответствует уровню наилучших образцов мира.

5. Оценка применимости испытанной конструкции штанги в местных горно-геологических условиях. Коэффициент эффективной работоспособности РЕ штанговой крепи равняется (при $k_2 = 0,2$)

$$k = \frac{10^5 \cdot k_n (1 - k_I \cdot k_2)}{2} = \frac{10^5 \cdot 0,90 (1 - 1,3 \cdot 1,2)}{227} =$$

$$= 292 > 250 \text{ кН/мм}^2.$$

3. Параметры рабочей единицы штанговой крепы

Наименование параметров	Обозначение	Ед. измер.	Средние величины по группам				
			I	II	III	IV	PE
I	2	3	4	5	6	7	8
Параметры установки							
1. Усилie закрепления замка	P_c	кн	80	88	50	50	-
2. Усилie натяжения	P_0	кн	56	55	50	50	-
3. Смещение внешнего конца стержня	δ_c	мм	(30)	(30)	(20)	(20)	-
4. Диаметр скважины	d	мм	43	43	43	43	43
Параметры нагружения							
5. Усилie натяжения перед нагружением	P_0	кн	31	-	30	-	-
6. Уменьшение усилия натяжения	ΔP_0	кн	25	-	20	-	-
7. Усилie закрепления замка	P_c	кн	-	81	-	50	-
8. Усилie перехода	P_u	кн	66	-	50	-	-
9. Усилie предельное при податливости 10 мм	P_{10}	кн	107	110	86	93	-
10. Усилie максимальное	P_{max}	кн	107	110	103	103	-
11. Уменьшение макс. усилия за 5 сек	ΔP_{max}	кн	13	12	13	12	-
12. Усилie перед разгрузением	P_0	кн	94	98	90	91	-
13. Несущая способность штанги при макс. доп. податливости	P_{ll}	кн	≥ 79	≥ 81	≥ 76	≥ 76	≥ 80
14. Податливость PE под действием усилия P_u	δ_u	мм	1,4	-	1,2	-	-

I	2	3	4	5	6	7	8
15.	Податливость PE при нагружении без натяжения усилием P_c	мм	-	3,0	-	1,8	-
16.	Податливость PE при нагружении усилием P_{max}	мм	$\geq 5,1$	$\geq 6,1$	$\geq 17,8$	$\geq 13,1$	$\geq 17,8$
17.	Упругая податливость при разгрузке от усилия P_f	мм	2,5	2,9	2,6	2,3	-
18.	Угол наклона I участка характеристики нагружения	0	78	-	77	-	78
19.	Угол наклона II участка характеристики нагружения	0	-	70	-	70	70
20.	Угол наклона II участка при разгрузке	0	75	74	74	76	75
21.	Коэффициент податливости напряженной PE	$\lambda_2 \cdot 10^{-2} \frac{мм}{кН}$	2,1	-	2,4	-	2,3
22.	Коэффициент податливости ненапряженной PE	$\lambda_1' \cdot 10^{-2} \frac{мм}{кН}$	-	3,7	-	3,6	3,7
23.	Коэффициент упругой работоспособности	k_{ne}	0,13	0,16	0,13	0,12	0,14
Основные параметры PE							
24.	Номинальная нагрузка	кН	≥ 79	≥ 81	≥ 64	≥ 69	≥ 79
25.	Коэффициент работоспособности	k_n	0,90	0,80	0,70	0,70	0,90
26.	Коэффициент упругой податливости	$\lambda_1 \cdot 10^{-2} \frac{мм}{кН}$	2,7	3,0	2,9	2,5	2,8
27.	Коэффициент пластической податливости	k_I	-	1,2	-	1,4	1,3

Установочные и основные параметры типовых характеристик нагружения

Типо- вая харак- терис- тика нагру- жения	Параметры уста- новки		Номи- наль- ная на- груз- ка $P_n, \text{кН}$	Кoeffи- циент работо- способ- ности K_n	Кoeffи- циент упругой податли- вости $\lambda, 10^{-2} \frac{\text{мм}}{\text{кН}}$	Кoeffици- ент пласти- ческой по- датливости K_I
	усилие закреп- ления $P_c, \text{кН}$	усилие натяже- ния $P_o, \text{кН}$				
I	80	50	$\cong 79^x)$	0,90	2,7	-
II	80	-	$\cong 81^x)$	0,80	3,0	1,2
III	50	50	64	0,70	2,9	-
IV	50	-	69	0,70	2,5	1,4
PE	80	50	$\cong 79^x)$	0,90	2,8	1,3

x) Максимальное усилие не было достигнуто из-за ограниченной допускаемой нагрузки примененного домкрата ПА-3, равной 100 кН.

Следовательно, испытанные штанги обеспечивают в условиях сланцевых шахт образцовое качество крепления, как было доказа-
но выше.

Конструкция штанги и соответственно технология ее изгото-
вления сравнительно несложные. Процесс установки механизми-
рован с применением компактного ручного инструмента. Послед-
ний обеспечивает высокое качество крепления, но ограниченную
производительность труда при установке (20-25 штанг за сме-
ну). Конструкция штанги не приспособлена для повторного ис-
пользования.

Решение: по результатам шахтных испытаний распорную кли-
норифтовую штангу фирмы Бейлисс можно рекомен-
довать в условиях эстонских сланцевых шахт для
крепления капитальных горных выработок и камер
со значительным сроком службы.

Standard Test of Rock Bolting. Mining Congress Journal, № 12, 1959, p. 59-60.

Richtlinien für den Anker Ausbau. Glückauf, № 3, 1960, S. 183-186.

Handbook of Roof Bolting. Bayliss Jones & Bayliss Ltd., London, 1960.

Югон А., Кост А. Штанговое крепление горных пород. Перевод с французского. Госгортехиздат. М., 1962.

Талве Л.Г. Основы анализа штанговой крепи по ее характеристикам. В сб. Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки. Труды Института сланцев, вып. 10, Гостоптехиздат, Л., 1962.

Талве Л.Г. Определение состояния рабочей единицы штанговой крепи по характеристике нагружения. В сб. Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки. Труды Института сланцев, вып. 11. Гостоптехиздат, Л., 1962.

Талве Л.Г. Измерение величины натяжения штанг. В сб. Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки. Труды Института сланцев, вып. 12, Гостоптехиздат, Л., 1963.

Талве Л.Г. Определение состояния рабочей единицы штанговой крепи с учетом фактора времени. В сб. Химия и технология горючих сланцев и продуктов их переработки. Труды института сланцев, вып. 12. Гостоптехиздат, Л., 1963.

Аллик А.М. Штанговая крепь на сланцевых шахтах. "Недра", Л., 1964.

Талве Л.Г. Методика испытания рабочей единицы штанговой крепи. В сб. Штанговая крепь в горной промышленности, вып. I, ГОСИНТИ, М., 1965.

Семевский В.Н., Волжский В.М., Тимофеев О.В., Широков А.П., Кравченко Г.Н., Чукан Б.К., Этингов С.И. Штанговая крепь. "Недра", М., 1965.

Талве Л.Г. Основы стратодинамической теории крепления горных выработок штангами. В сб. Добыча и переработка горючих сланцев, вып. 14. Труды Института сланцев. "Недра", Л., 1965.

Талве Л.Г. Оценка работоспособности и применяемости определенных конструкций штанговой крепи. В сб. Добыча и переработка горючих сланцев. Труды Института сланцев, вып. 15, "Недра", Л., 1966.

Технические указания по применению анкеров в качестве временной крепи выработок транспортных тоннелей. Оргтрансстрой, М., 1966.

Талве Л.Г. К анализу характеристики рабочей единицы штанговой крепи. В сб. Добыча и переработка горючих сланцев. Труды Института сланцев, вып. 16., "Недра", Л., 1967.

С о д е р ж а н и е

	Стр.
В в е д е н и е	3
1. Общие требования к методике испытания штанг	4
2. Основные параметры РЕ штанговой крепи . . .	6
3. Испытание штанговой крепи	II
4. Обработка результатов шахтных испытаний . .	18
5. Оценка работоспособности и применяемости оп- ределенных конструкций штанговой крепи. . .	22
П р и л о ж е н и е	
Испытание клиномуфтовых штанг фирмы Бейлисс на сланцевых шахтах Эстонии	28

Цена 8 коп.

XI

A-18283

238841