

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

РАСЧЕТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ И АЭРАЦИИ  
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Материалы к докладу Л. Дргенсона  
на Советании по теплоизоляции и  
аэрации животноводческих помеще-  
ний 12-14.03.68.

Таллин 1969

AR

1 XI  
1A-19690

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

РАСЧЕТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ И АЭРАЦИИ  
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Материалы к докладу Л. Дргенсона  
на совещании по теплоизоляции и  
аэрации животноводческих помеще-  
ний 12-14.03.68.

Таллин 1969

А Н Н О Т А Ц И Я

250140

Цель данной работы - дать проектировщику практический метод и основные данные для определения

1. тепмического сопротивления ограждающих конструкций,
2. количества тепла-отопления,
3. интенсивности воздухообмена,
4. мощности и размеров установок аэрации,

необходимых для обеспечения заданного режима помещения. Метод применим также для обратной задачи - определения режима помещения в условиях данного климата и при данной интенсивности аэрации.

Обоснование и более детальное объяснение расчета, а также анализ имеющихся данных о влиянии качества помещения на продуктивность животных, приведены в приложениях.

С о д е р ж а н и е

Формулы и примеры расчета . . . . .	3
Приложение I. Величины $\epsilon$ и $\mathcal{E}$ . . . . .	12
"    2. Обоснование формул . . . . .	13
"    3. Пример расчета коговника . . . . .	21
"    4. Диаграммы результатов . . . . .	24
"    5. Экономика утепления сви- нарника . . . . .	32

РАСЧЕТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ И АЭРАЦИИ  
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Формулы и примеры расчета

## Обозначения

$\beta$	-	газница в содержании водяного пара	г/кг
$c = \frac{\sum kF}{\sum Q_0}$		модуль теплопотерь (доля выделяемого животными общего тепла, которая теряется через ограждения на градус разницы температур $\Delta t$ )	1/град
$\Delta t$	-	температурный перепад $t_g - t_n$	град
$e$	-	приток водяного пара на ккал общего тепла, выделяемого животными	г/ккал
$\varepsilon$	-	доля свободного тепла	ккал/ккал
$F$	-	площадь ограждения	$m^2$
$\phi$	-	относительная влажность воздуха	%
$G$	-	обмен воздуха	кг/час
$H$	-	эффективная высота вытяжной шахты	м
$k = \frac{1}{R_0}$		коэффициент теплопередачи	ккал/ $m^2$ час град
$m$	-	модуль производительности установок аэрации (обмен воздуха на ккал общего тепла при $\sqrt{\Delta t} = 1$ )	кг/ккал $\sqrt{\text{град}}$
$q$	-	удельный воздухообмен на ккал общего тепла, выделяемого животными	кг/ккал
$R_0$	-	сопр. теплопередаче	$m^2$ час град/ккал
$\sum Q_0$	-	приток общего тепла, выделяемого животными, включая тепло испарения (по СН II6 и СН II7)	ккал/час
$Q^{от}$	-	тепло отопления	— " —
$Z$	-	коэфф. аэродин.сопротивления	1/1

СТЕПЕНЬ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ, необходимая для обеспечения в помещении заданного тепло-влажностного режима помещения определяется уравнениями

$$c^{TP} \leq \frac{\delta}{\Delta t} - 0,24 \frac{e}{\delta}$$

$$\Sigma kF \leq c^{TP} \cdot \Sigma Q_0$$

Пример.

Свинарник вмещает 1000 голов по 60 кг, выделяющих по 200 ккал/час общего тепла. Требуется без отопления обеспечить  $t_B = 10$  град;  $\phi_B = 90\%$  при  $t_H = -10^\circ\text{C}$  и  $\phi_H = 80\%$ .

Решение.  $\Sigma Q_0 = 1000 \cdot 200 = 200\ 000$

$\Delta t = 20$  град. Согласно приложению I, при  $t_B = 10$  имеем  $\delta = 0,64$ ;  $e = 0,62$ . (приложение I).

Абс. влажность воздуха помещения  $0,90 \times 7,5 = 6,75$  г/кг

" " наружного воздуха  $0,8 \times 1,7 = 1,36$ .

Разница  $\delta = 6,75 - 1,36 = 5,39$  т.е. каждый кг обмениваемого воздуха удаляет из помещения 5,39 г водяного пара.

Требуемое  $c^{TP} = \frac{0,64}{20} - 0,24 \frac{0,62}{5,39} = 0,0044$  л/град.

Это значит, что потери тепла через ограждающие конструкции на градус температурного перепада должны быть ниже 0,44% от величины  $\Sigma Q_0$ . Ограждающие конструкции должны иметь  $\Sigma kF$  не выше  $c^{TP} \cdot \Sigma Q_0 = 0,0044 \cdot 200\ 000 = 880$  ккал/час.град., т.е. суммарные потери тепла через ограждения должны быть ниже 880 ккал/час на один градус температурного перепада.

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛА ОТОПЛЕНИЯ (или регенерации)

$$Q^{от} = (c - c^{тр}) \Delta t \cdot \Sigma Q_0 \quad \text{ккал/час}$$

или

$$Q^{от} = (\Sigma kF - c^{тр} \cdot \Sigma Q_0) \Delta t$$

Пример. Свиноводческое помещение предыдущего примера

$\Sigma Q_0 = 200\ 000$ ;  $\Sigma kF = 880$  должно обеспечить  $t_в = 10^\circ\text{C}$  и  $\varphi_в = 85\%$  при  $t_н = -20$  град. и  $\varphi_н = 80\%$ .

Решение.  $\Delta t = 30$  град.;  $\varepsilon = 0,64$ ;  $e = 0,62$  (приложение 1)  
 $\delta = 0,85 \cdot 7,5 - 0,80 \cdot 0,8 = 5,74$  г/кг.

Требуемое  $c^{тр} = \frac{0,64}{30} - 0,24 \frac{0,62}{5,74} = -0,0047$  л/град

имеющиеся  $c = 880:200\ 000 = 0,0044$

Разница  $0,0044 - (-0,0047) = 0,0091$  л/град.

Требуемое отопление

$$0,0091 \cdot 200\ 000 \cdot 30 = 54\ 600 \text{ ккал/час.}$$

## ИНТЕНСИВНОСТЬ ОБМЕНА ВОЗДУХА

Удельный обмен на ккал общего тепла составляет

$$q = \frac{1}{0,24} \left( \frac{\varepsilon}{\Delta t} - c \right) \quad \text{кг/ккал}$$

Общий обмен

$$G = q \cdot \Sigma Q_0 \quad \text{кг/час.}$$

Пример. Определить обмен воздуха сварщика, имеющего  $c = 0,008$  и  $\Sigma Q_0 = 200\,000$  ккал/час при  $t_B = 10^\circ\text{C}$  и  $t_H = 0^\circ\text{C}$ , а также при  $t_H = -10$ .

Решение.  $\Delta t = 10$  град.  $\varepsilon = 0,64$

$$q = \frac{1}{0,24} \left[ \frac{0,64}{10} - 0,008 \right] = 0,233 \quad \text{кг/ккал.}$$

Обмен воздуха

$$G = 0,233 \cdot 200\,000 = 46\,600 \quad \text{кг/час.}$$

При  $t_H = -10$  град  $\Delta t = 20$  град.

$$q = \frac{1}{0,24} \left[ \frac{0,64}{20} - 0,008 \right] = 0,10 \quad \text{кг/ккал.}$$

$$G = 0,10 \cdot 200\,000 = 20\,000 \quad \text{кг/час.}$$



СОДЕРЖАНИЕ CO<sub>2</sub> В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЯ определяется из факта, что разница в содержании CO<sub>2</sub> составляет

$$d = \frac{0,149}{q} \quad \text{л/кг}$$

Пример. Определить содержание CO<sub>2</sub> в воздухе свинарника при

$$t_B = 10^\circ\text{C}; \quad t_H = -5^\circ\text{C}; \quad c = 0,006.$$

Решение.  $\Delta t = 15$  град;  $\varepsilon = 0,64$ ;

$$q = \frac{1}{0,24} \left[ \frac{0,64}{15} - 0,0006 \right] = 0,154 \quad \text{кг/ккал.}$$

$$d = 0,149 : 0,154 = 0,97 \quad \text{л/кг}$$

$$\text{т.е. } 0,97 : 1,25 = 0,78 \quad \text{л/м}^3.$$

Если поступающий воздух содержит 0,3 л CO<sub>2</sub> на м<sup>3</sup>, то содержание CO<sub>2</sub> в воздухе помещения будет  $0,3 + 0,78 = 1,08$  л/м<sup>3</sup>.

ПЛОЩАДЬ СЕЧЕНИЯ ВЫТЯЖНОЙ ШАХТЫ

$$F = \frac{m}{1200} \sqrt{\frac{z}{H}} \cdot \Sigma Q_0$$

Минимально допустимая величина модуля производительности составляет  $m = 0,04$  рекомендуемая же  $m = 0,06$  до  $0,12$ .

Пример. Определить сечение шахты при  $H = 5$  м.

$$\Sigma Q_0 = 200\ 000 \text{ ккал/час и } z = 1,6.$$

Решение. Минимально допустимое сечение (при  $m = 0,04$ ) составляет

$$F = \frac{0,04}{1200} 200\ 000 \sqrt{\frac{1,6}{5}} = 3,8 \text{ м}^2$$

Рекомендуемое же сечение составляет при  $m = 0,06$

$$F = 5,7 \text{ м}^2, \text{ а при } m = 0,12 \quad F = 11,4 \text{ м}^2.$$

Примем  $F = 6 \text{ м}^2$  и проверим производительность шахты при  $\Delta t = 9$  град;  $H = 5$  м;  $z = 1,6$  (при открытых окнах).

Производительность  $G = 1200 F \sqrt{\Delta t \cdot H / z}$  кг/час

$$G = 1200 \cdot 6 \sqrt{\frac{9 \times 5}{1,6}} = 38\ 000 \text{ кг/час.}$$

Проверим требуемый обмен по тепловому балансу при

$$t_B = 15^\circ\text{C} \quad (\varepsilon = 0,495) \quad \text{и} \quad c = 0,01$$

$$G = \frac{1}{0,24} \left( \frac{0,495}{9} - 0,01 \right) 200\ 000 = 37\ 500 \text{ кг/час.}$$

Шахта обеспечивает достаточный обмен воздуха в безветренную погоду при наружной температуре  $t_H = 6^\circ\text{C}$ .

СЕЧЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ ПРИЕМА СВЕЖЕГО ВОЗДУХА определяется из общей формулы потока воздуха через всю систему аэрации при закрытых окнах

$$q = \frac{I}{0,24} \left( \frac{\epsilon}{\Delta t} - c \right) = 1200 \frac{F}{\Sigma Q_0} \sqrt{\frac{\Delta t}{z_0}} H$$

где  $z_0$  - общий коэфф. аэродинамического сопротивления на базе скорости воздуха в шахте

$$z_0 = z_{\text{шахты}} + z_{\text{отверстий}} \left[ \frac{F_{\text{шахты}}}{F_{\text{отверстий}}} \right]^2$$

Пример. Помещение имеет шахту  $F = 8 \text{ м}^2$ ;  $H = 5 \text{ м}$ ;  $z = 1,6$   
 $\Sigma Q_0 = 200 \text{ 000 ккал/час.}$

Приемные отверстия имеют сечение в 70% сечения шахты и  $z = 1,6$ . Проверить приемлемость решения в условиях

$$t_B = 10^\circ\text{C}; \quad t_H = -2^\circ\text{C} \quad \psi_H = 80\%.$$

Решение.  $z_0 = 1,6 + 1,6 : 0,7^2 = 4,87$ ;  $\Delta t = 12$

$$q = 1200 \frac{8}{200 \text{ 000}} \sqrt{\frac{5 \times 12}{4,87}} = 0,169 \text{ кг/ккал.}$$

$$\beta = \frac{e}{q} = \frac{0,62}{0,169} = 3,67 \text{ г/кг}$$

Влажность вн. воздуха  $0,8.3,2 + 3,67 = 6,23 \text{ г/кг.}$

$\psi_B = 6,23 : 7,5 = 83\%$  т.е. решение отвечает заданным условиям.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Величины  $\xi$  и  $e$  по результатам исследований  
Таллинского политехнического института

$t_B$	Коровники		Свинарники	
	$\xi$	$e$	$\xi$	$e$
0	0,79	0,35	-	-
I	0,78	0,37	-	-
2	0,77	0,39	-	-
3	0,76	0,41	-	-
4	0,75	0,43	-	-
5	0,74	0,45	0,72	0,48
6	0,72	0,48	0,71	0,50
7	0,70	0,51	0,70	0,52
8	0,68	0,54	0,68	0,55
9	0,66	0,58	0,66	0,58
10	0,64	0,61	0,64	0,62
11	0,62	0,65	0,61	0,66
12	0,59	0,70	0,59	0,71
13	0,56	0,75	0,56	0,76
14	0,53	0,80	0,53	0,81
15	0,50	0,86	0,49	0,87
16	0,46	0,93	0,46	0,92
17	0,41	1,01	0,43	0,98
18	0,36	1,09	0,40	1,03
19	0,31	1,18	0,36	1,09
20	0,25	1,28	0,33	1,15

ФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА ФОРМУЛ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА  
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Теплотехнический расчет ведется на основе единицы общего тепла, выделяемого животными. Это дает наиболее логичное и ясное решение, облегчает учет зависимости выделения водяного пара от температуры помещения, ясно показывает зависимость режима помещения от степени утепления и от интенсивности воздухообмена, и позволяет представить результаты расчета в виде наглядных графиков.

Нормы проектирования предписывают максимально допустимую концентрацию  $\text{CO}_2$  и относительную влажность и минимальную допустимую температуру ж.в. помещения. Выполнение этих требований требует планомерного удаления из помещения выделяемых животными тепла, паров и газов, а также испарений и выделений с пола и лотков.

Это достигается в основном путем регулярного обмена испорченного внутреннего воздуха свежим воздухом. Возможный обмен воздуха ограничивается однако наличным для этой цели количеством свободного тепла, ибо удаляемый воздух выносит потребованное на его согревание количество тепла. Имеющееся количество тепла должно в первую очередь покрыть потери через ограждения, и только оставшееся количество можно использовать на согревание поступающего свежего воздуха, т.е. на проведение воздухообмена.

Количество свободного тепла определяется общим коли-

чеством выделяемого тепла за вычетом расхода тепла на испарение воды. Живой организм выделяет тепло путем излучения, конвекции, передачи и путем испарения воды. Поскольку водяной пар обычно удаляется из помещения в неосажденном виде, тепло испарения остается потерянным для теплового хозяйства помещения и не используется на согревание воздуха и самого помещения.

В тепловом хозяйстве помещения полезно используется только то количество тепла, которое остается свободным после покрытия расхода на испарение воды. Каждый грамм испаренной воды уменьшает количество явного тепла на 0,585 ккал.

Если выделение водяного пара составляет  $\epsilon$  граммов на каждый ккал общего тепла, то доля свободного тепла составляет

$$\epsilon = 1 - 0,585 \epsilon \quad \text{ккал/ккал.}$$

Обмен воздуха определяется количеством наличного для этой цели тепла. Поскольку практически все количество приходящего в помещение водяного пара удаляется из помещения путем обмена воздуха, то основной формулой расчета режима является формула воздухообмена. При расчете, основанном на единицу количества тепла, эта формула просто выписывается из уравнения теплового баланса.

Исходим из одной ккал общего тепла, выделяемого животными. Из доли  $\epsilon$ , оставшейся свободной после покрытия расхода на испарение воды, часть (доля  $c \cdot \Delta t$ )<sup>\*</sup> теряется

<sup>\*</sup> Модуль теплопотерь  $c = \sum kF : \sum Q$ . показывает расход при температурном перепаде в 1 град. При перепаде  $\Delta t$  град. расход составляет  $c \cdot \Delta t$

через ограждающие конструкции, а остатком ( $\varepsilon - c \cdot \Delta t$ ) обменивается  $q$  кг воздуха, на согревание которых на  $\Delta t$  град. расходуется  $0,24 \cdot \Delta t \cdot q$  ккал. Итак получим

$$\varepsilon - c \cdot \Delta t = 0,24 \Delta t \cdot q \quad \text{ккал/ккал}$$

Отсюда удельный обмен воздуха

$$q = \frac{1}{0,24} \left( \frac{\varepsilon}{\Delta t} - c \right) \quad \text{кг/ккал}$$

Величина  $q$  показывает обмен в кг на ккал общего тепла. Если животное выделяет 1000 ккал/час, то обмен на животное составляет 1000  $q$  кг/час. Модуль  $c = \Sigma kF : \Sigma Q_0$  зависит от теплоизоляции помещения и от количества тепла, выделяемого животными. Для практических целей расчета можем его считать постоянной величиной. При  $c = 0,01$  через ограждения теряется 1% общего тепла на градус температурного перепада. Если потери через ограждения компенсируются отвлечением, то  $c = 0$ .

Влажность внутреннего воздуха. Содержание водяного пара в воздухе помещения тем выше, чем больше приток пара и чем меньше обмен воздуха. Приток пара составляет  $e$  г/ккал. При установившемся режиме непрерывный приток пара должен распределиться на так же непрерывно обмениваемое количество воздуха  $q$ .

Воздух помещения содержит поэтому на  $v = \frac{e}{q}$  г/кг водяного пара больше, чем наружный воздух. Прибавив это количество к содержанию пара в поступающем воздухе, найдем абсолютное содержание пара в воздухе помещения. Из абсолютной влажности вычислим относительную влажность, соответственно температуре.

Содержание CO<sub>2</sub> определяется аналогичным путем. Если приток CO<sub>2</sub> составляет  $\dot{i}$  л/ккал, то внутренний воздух содержит CO<sub>2</sub> на

$$d = \frac{\dot{i}}{q} \quad \text{л/кг}$$

больше чем поступающий воздух. Прибавив это количество к содержанию CO<sub>2</sub> в свежем воздухе, находим содержание CO<sub>2</sub> в воздухе помещения. Соответственно температуре можем вычислить содержание CO<sub>2</sub> в литрах на м<sup>3</sup>.

Согласно действующим нормам  $\dot{i} = 0,149$  л/ккал.

Приток общего тепла определяется по таблицам норм СН II6 и СН I27.

Приток водяного пара, как исходящий от животных так и от пола помещения, зависит от режима помещения, в первую очередь от температуры.

Имеющиеся данные о притоке водяного пара, выраженные в граммах на ккал общего тепла, выделяемого животными, приведены в приложении I.

При помощи приведенных формул можем рассчитать тепловлажностный режим при заданных условиях, а также определить степень утепления здания, необходимую для обеспечения заданного режима помещения.

Степень утепления здания, необходимая для обеспечения заданного режима, определяется из уравнения требуемой величины модуля теплопотерь

$$c \cdot \frac{e}{\Delta t} = 0,24 \frac{e}{\theta}$$

т. е.

$$\sum kF = c \cdot \sum Q_0 = \left[ \frac{e}{\Delta t} - 0,24 \frac{e}{\theta} \right] \sum Q_0$$

Величина  $\delta$ , т.е. разница в содержании водяного пара во внутреннем и наружном воздухе определяется условиями задания. Величины  $\delta$  и  $\epsilon$  зависят от  $t_g$  и даны в приложении I.

Необходимое количество тепла отопления определяется из условия, что недостающее для обеспечения заданного режима количество тепла должно возмещаться отоплением или регенерацией.

Если требуемая величина модуля теплопотерь составляет  $C^{тр}$  (ккал на ккал общего тепла и градус перепада) а здание имеет модуль  $C$ , то удельный перерасход составляет  $C - C^{тр}$  ккал/ккал.град

Требуемое количество тепла отопления составляет поэтому

$$Q^{от} = (C - C^{тр}) \Delta t \cdot \Sigma Q. \quad \text{ккал/час.}$$

Скорость движения воздуха в вытяжной шахте при разнице объемных весов внутреннего и наружного воздуха

$\gamma_H - \gamma_B$  составляет

$$v = 3600 \sqrt{\frac{\gamma_H - \gamma_B}{\gamma_B} 2g \frac{H}{z}} \quad \text{м/час.}$$

При расчете режима животноводческого помещения эту формулу с достаточной для практических целей точностью можно заменить формулой

$$v = 970 \sqrt{\frac{H}{z} \Delta t} \quad \text{м/час.}$$

Производительность шахты составляет, следовательно

$$G = 1200 F \sqrt{\frac{\Delta t}{z} \cdot H} \quad \text{кг/час.}$$

Обмен воздуха, рассчитанный на ккал притока общего тепла, составляет

$$q_1 = \frac{G}{\Sigma Q_0} = 1200 \frac{F}{\Sigma Q_0} \sqrt{\frac{H}{z} \cdot \Delta t} \quad \text{кг/ккал}$$

Производительность вытяжной шахты характеризуется модулем

$$m = \frac{q_1}{\Delta t} = 1200 \frac{F}{\Sigma Q_0} \sqrt{\frac{H}{z}} \quad \text{кг/ккал.град}$$

показывающим количество воздуха обмениваемого на ккал общего тепла при  $\sqrt{\Delta t} = 1$ . В случае шахты, не имеющей особых источников сопротивления (как чрезмерно низко поставленный зонтик, жалюзийные решетки и т.д.), величина  $z$  при открытых окнах составляет ориентировочно  $z = 1,75$ . Модуль производительности равняется тогда

$$m = 900 \frac{F}{\Sigma Q_0} \sqrt{H}$$

Минимально приемлемой величиной модуля  $m$  следует считать

$$m = 0,04, \text{ рекомендуемой же } m = 0,06 \text{ до } m = 0,12.$$

Установка аэрации, имеющая модуль производительности

$m = 0,04$  обеспечивает в переходный период, когда требуется максимальный обмен воздуха, снижение температурного перепада до 13 градусов. При  $m = 0,06$  достигается  $\Delta t = 10$  град. и при  $m = 0,12$  -  $\Delta t = 6$  град. Точная величина перепада зависит кроме  $t_B$  еще от  $c$ ,  $\varphi_H$  и  $\varphi_B$

Сечение шахты определяется формулой

$$F = \frac{m}{1200} \sqrt{\frac{z}{H}} \cdot \Sigma Q_0 \quad \text{м}^2$$

при  $z = 1,75$  получим

$$F = \frac{m}{900} \cdot \frac{\Sigma Q_0}{\sqrt{H}} \quad \text{м}^2$$

Расчет отверстий для приема свежего воздуха ведется для условий, когда погода настолько похолодела, что приходится закрывать окна. Сечение отверстий зависит от вида приемных установок и от предвиденной скорости втекающего свежего воздуха.

Следует учесть, что общее аэродинамическое сопротивление движения воздуха, рассчитанное на базе скорости движения в шахте, возрастает на величину коэффициента аэродинамического сопротивления приемных отверстий, помноженной на квадрат отношения скорости в отверстиях к скорости в шахте.

Поскольку полная производительность шахты требуется при теплой погоде (т.е. при открытых окнах), то резерв тягового побуждения в прохладное время позволяет проектировщику широко варьировать конструкции приемных отверстий.

Применяемая при расчете впускных отверстий общая формула движения воздуха через систему аэрации помещения гласит

$$q_v = \frac{1}{0,24} \left[ \frac{\delta}{\Delta t} - c \right] = 1200 \frac{F}{\Sigma Q_0} \sqrt{\frac{H \cdot \Delta t}{z_0}} \quad \text{кг/ккал}$$

в которой  $\eta_0$  обозначает общий коэффициент аэродинамического сопротивления на базе скорости в шахте

$$z_0 = z_{\text{шахты}} + z_{\text{отверстий}} \left[ \frac{F_{\text{шахты}}}{F_{\text{отверстий}}} \right]^2$$

Проверка вероятности выпадения и накопления конденсата внутри и на поверхности ограждающих конструкций проводится по обычным законам физики. Следует при этом учесть, что предписываемые строительными нормами величины  $R_B$

(обычно = 0,133) учитывает только усредненные условия теплового излучения. В углах помещения величина  $R_B$  на много выше. Вследствие интенсивного поглощения лучистого тепла окнами, величина  $R_B$  резко возрастает на поверхности перекрытия, подверженной холодной радиации окон.

Согласно результатам предварительных измерений,  $R_B$  перекрытия коровника в близости от окон доходит до  $R_B = 0,45$ , на расстоянии 0,5 м.  $\rightarrow R_B = 0,35$ ; на расстоянии 1 м - 0,27 и на расстоянии 2 м - 0,22. В глубине помещения, где перекрытие защищено от холодной радиации окон,  $R_B$  снижается до  $R_B = 0,05$ .

ПРИМЕР РАСЧЕТА КОРОВНИКА

Берем для примера коровник на 200 голов размером в плане 18x72 м; высота стен 3,4 м; высота в коньке 4,9 м. Проект Гипронисельхоза № ОI-193-6 Ж.

У торцов здания с обеих сторон имеется тамбуры и подсобные помещения шириной 2,8 м. С одной продольной стороны располагается отапливаемое помещение шириной 12 м.

Коровник имеет 34 окна 1,8x1,2 м и 4 окна 0,9x1,2 м, а также 4 ворот 3x3 м, расположенных в торцевых стенах и один ворота 2,1x2,4 м по середине продольной стены. Усредненная величина коэффициента теплопередачи пола равна  $k = 0,18$ .

Требуется определить необходимое утепление и отопление для обеспечения  $t_B = 3$  град. и  $\varphi_B = 85\%$  при  $t_H = -20$  град. и  $\varphi_H = 85\%$ .

Решение.

Согласно приложению I.  $\epsilon = 0,41$  и  $\xi = 0,76$ . Разница в содержании водяного пара составляет

$$b = 0,85 \cdot 4,67 - 0,85 \cdot 0,64 = 3,44 \text{ г/кг.}$$

Максимально допустимая величина модуля теплопотерь составляет

$$C = \frac{\xi}{\Delta t} - 0,24 \frac{\epsilon}{b} = \frac{0,76}{23} - 0,24 \frac{0,41}{3,44} = 0,0044 \text{ л/град}$$

т.е. величину, которую очень трудно достичь без отопления при обычно применяемых конструкциях ограждений.

Таблица 2

## Теплотехнический расчет коровника

	Решение 1				Решение 2				Решение 3						
	F	K	kF	K	F	K	kF	K	F	K	kF	K	F	K	kF
Покрытие	1236	0,6	742	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Перекрытие	1206	-	-	0,3	362	0,20	241	0,18	217	0,18	217	1,6	120	0,7	29
Пол	1206	0,18	217	0,18	217	1,6	120	0,7	29	0,3	127	0,3	127	0,3	127
Окна	75	2,7	202	1,6	120	0,7	29	0,7	29	0,3	127	0,3	127	0,3	127
Ворота	41	1,4	58	0,7	29	0,7	29	0,7	29	0,3	127	0,3	127	0,3	127
Стены	422	0,6	253	0,3	127	0,3	127	0,3	127	0,3	127	0,3	127	0,3	127
$\Sigma kF$			1472		855		734		855		734		855		734
$C = \Sigma kF : 172 \cdot 200 =$			0,0086		0,0050		0,0043		0,0050		0,0043		0,0050		0,0043
$C$ требуемое =			0,0044		0,0044		0,0044		0,0044		0,0044		0,0044		0,0044
$C - C_{тв}$			0,0042		0,0006		-0,0001		0,0006		-0,0001		0,0006		-0,0001
$Q_{от} = (C - C_{тв}) \cdot 23 \cdot 172 \cdot 200 =$			16 600		2400		~ 0		2400		~ 0		2400		~ 0

Чтобы более наглядно показать, как влияет теплоизоляция здания в целом, а также теплоизоляция каждой отдельной части здания на качество и экономику помещения, проведем расчет теплоизоляции и требуемого отопления в табличной форме. Расчет проведен для трех вариантов решения вопроса утепления. За выделение общего тепла коровой принято 861 ккал/час ;  $\Sigma Q_0 = 172\ 200$ .

Вариант 1. Стены и покрытие имеют  $R_0 = 1,67$ , т.е.  $K = 0,6$  что при двойных окнах и обычных конструкциях ворот дает  $\Sigma kF = 1472$  и  $c = 0,0086$ . Обеспечение заданного режима помещения требует добавочного отопления в размере 16 600 ккал/час.

Вариант 2. Покрытие заменено утепленным перекрытием с  $K = 0,3$ , применим стены Герарда с легкой заемкой, дающие  $K = 0,3$ , тройные окна с  $K = 1,6$  и утепленные ворота с  $K = 0,7$ . Модуль теплопотерь снизится до  $c = 0,0050$  и требуемое количество тепла отопления составляет 2400 ккал/час.

Вариант 3. То же здание, но перекрытие имеет  $K = 0,2$ . Модуль теплопотерь снизится до  $c = 0,0043$  и дефицит тепла отпадает. Отопления не требуется.

ДИАГРАММЫ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Для того, чтобы более ясно показать как влияют физические параметры животноводческого помещения на тепловлажностный режим, приведены результаты расчетов для наиболее типичных случаев.

На рис. 1, 2, 3, 4 и 5 показано как влияет на режим коровника теплоизоляция ограждающих конструкций и степень заселенности помещения. Эти два фактора охватываются модулем теплопотерь через ограждающие конструкции. Результаты расчетов показаны для помещений, имеющих  $C = 0,005$  (хорошо утепленное здание),  $C = 0,010$ ,  $C = 0,015$ , а также  $C = 0,00$  и  $C = -0,01$  (отапливаемые здания) при относительной влажности наружного воздуха  $\varphi_n = 85\%$ . Диаграммы показывают зависимость тепловлажностного режима (т.е. внутреннюю температуру и относительную влажность) от наружной температуры и от интенсивности обмена воздуха. Обмен воздуха показан в граммах на ккал общего тепла и для сравнения - также в  $\text{м}^3/\text{час}$  одну дойную корову, выделяющую 860 ккал общего тепла в час.

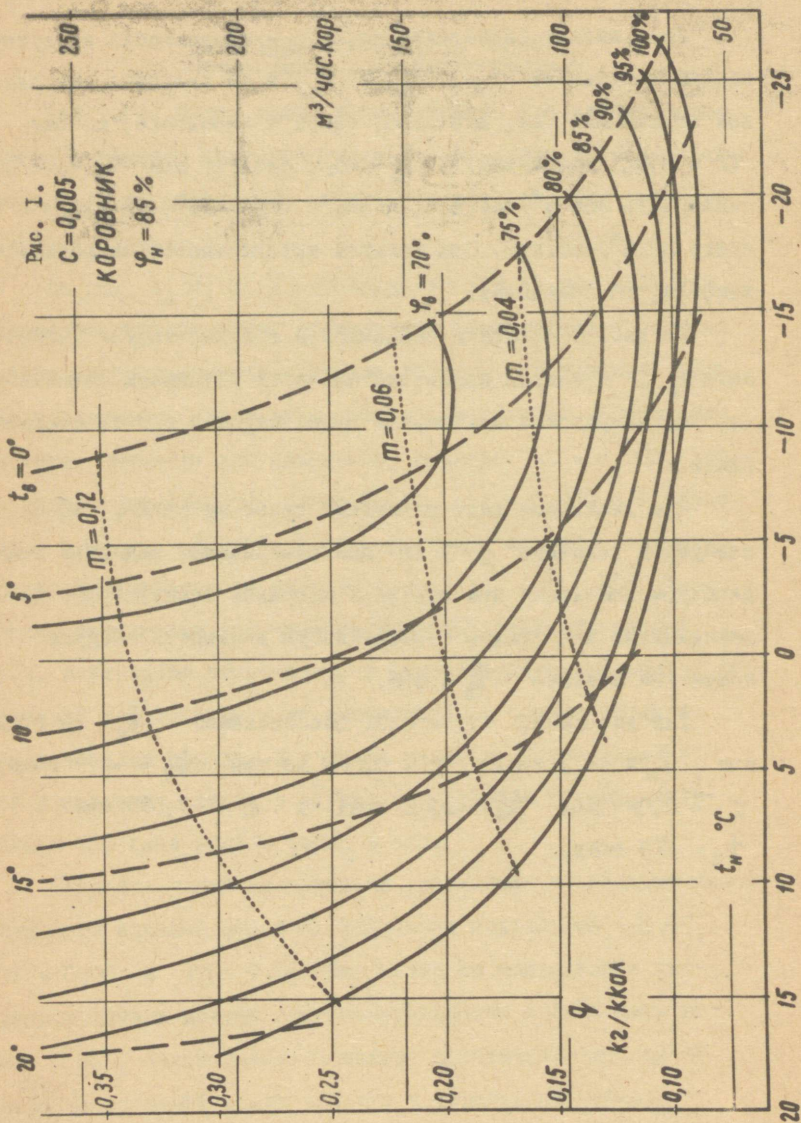
Показана также максимально достижимая производительность установок аэрации при трех величинах модуля:  $m = 0,04$ ,  $m = 0,06$  и  $m = 0,12$ . Как видно из приведенных диаграмм, величина модуля производительности должна быть не ниже 0,06, чтобы вытяжной шахтой обеспечить без помощи ветра достаточный обмен воздуха в переходный период.

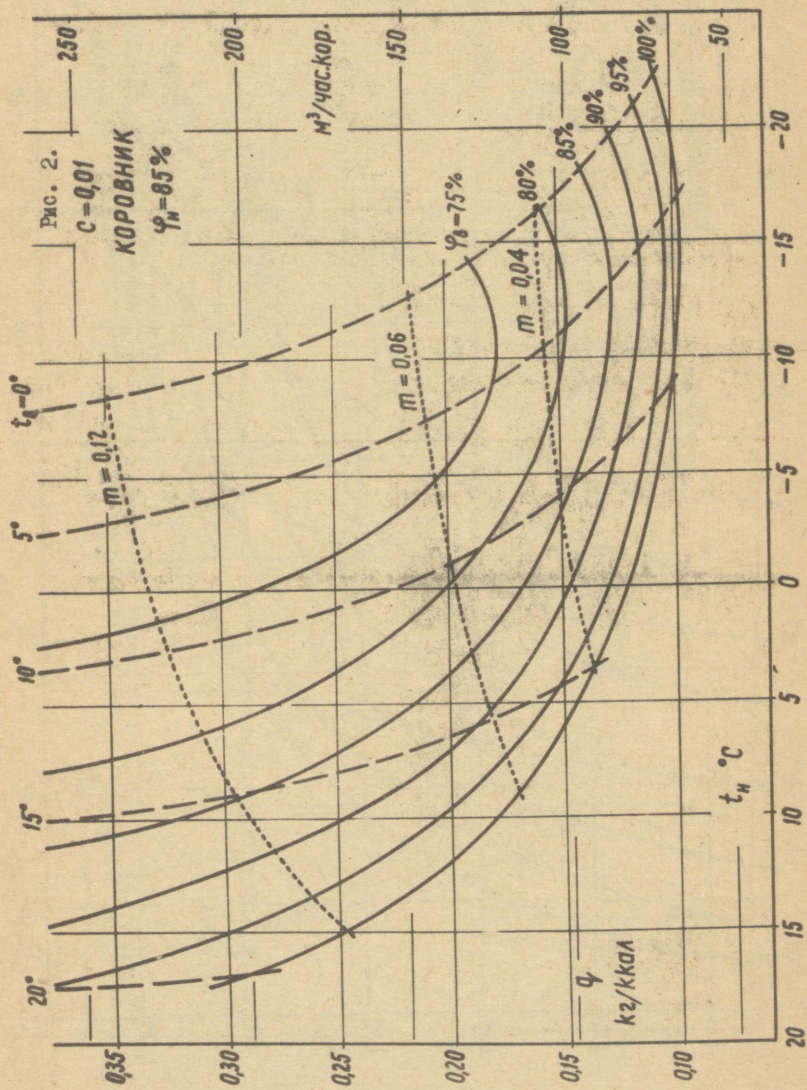
Заслуживает подчеркивания, что интенсивность воздухообмена зависит от  $t_n$ ,  $t_b$  и  $C$ , и не является постоянной величиной. Так, например, чтобы в коровнике, имеющем  $C = 0,005$  удерживать  $\varphi_B = 85\%$ , следует при  $t_n = 10^\circ\text{C}$  обменивать  $200 \text{ м}^3/\text{час.кор.}$ , а при  $t_n = -10^\circ\text{C}$  (и ниже) всего  $80 \text{ м}^3/\text{час.кор.}$  При большей интенсивности резко падает температура помещения.

На рис. 6 показана зависимость величин модуля теплопотерь  $C$  и модуля производительности установок аэрации  $M$  от наружной и внутренней температуры в случае свиначников.

Эта диаграмма дает наглядный ответ на вопрос, какая требуется величина  $C$  и  $M$  для обеспечения заданной температуры помещения при заданной наружной температуре. За максимально допустимую относительную влажность воздуха помещения принято  $\varphi_B = 85\%$ .

Так например,  $C = 0,01$  обеспечивает  $t_b = 10$  град при  $t_n = -4,3$  град;  $C = 0,005$  же при  $t_n = -8,0$  град;  $C = 0,00$  при  $t_n = -13,8$  град. а  $C = -0,005$  при  $t_n = -23$  град.





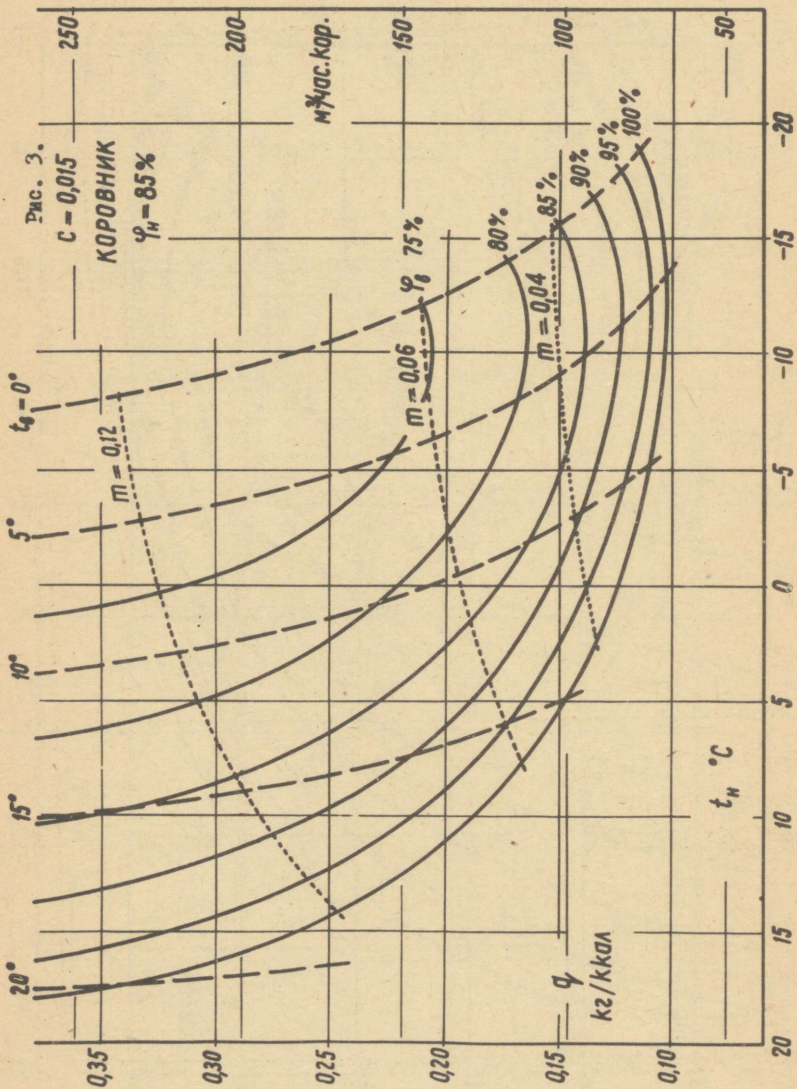


Рис. 4.

$C=0,000$

СВИНАРНИК

$\varphi_H=85\%$

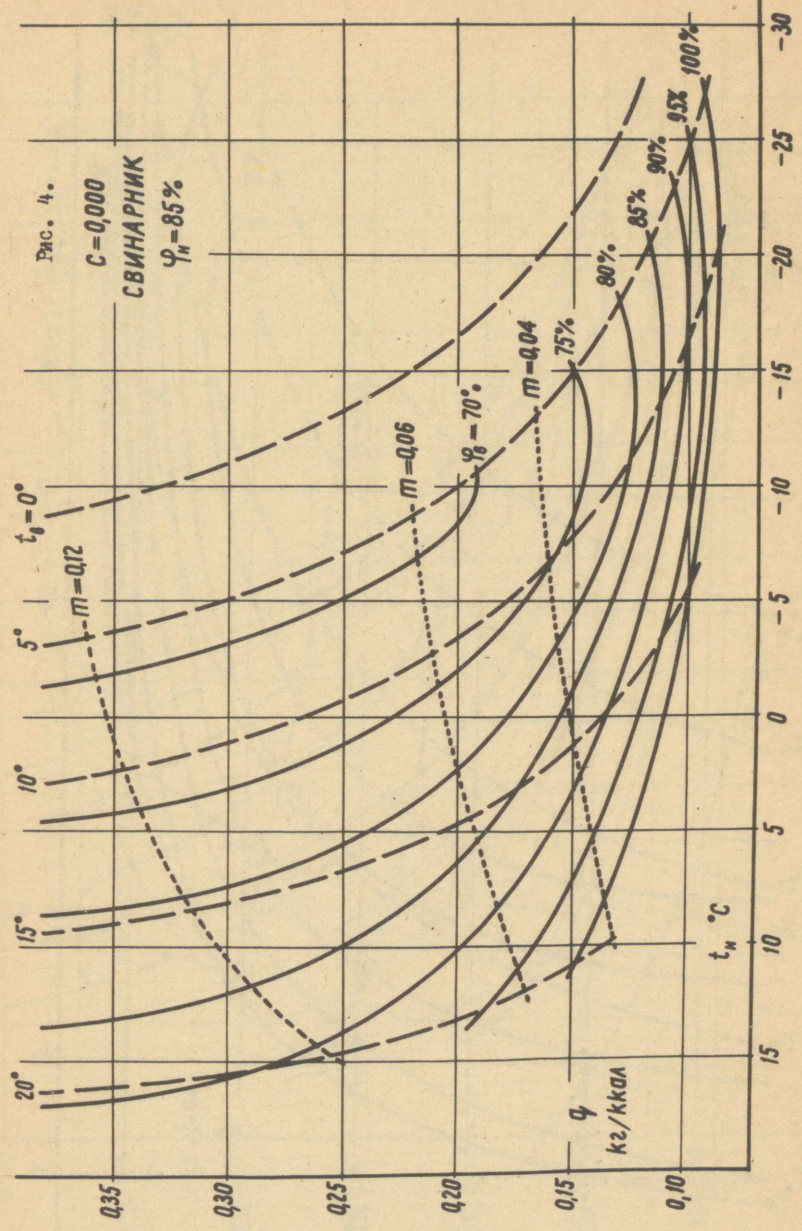
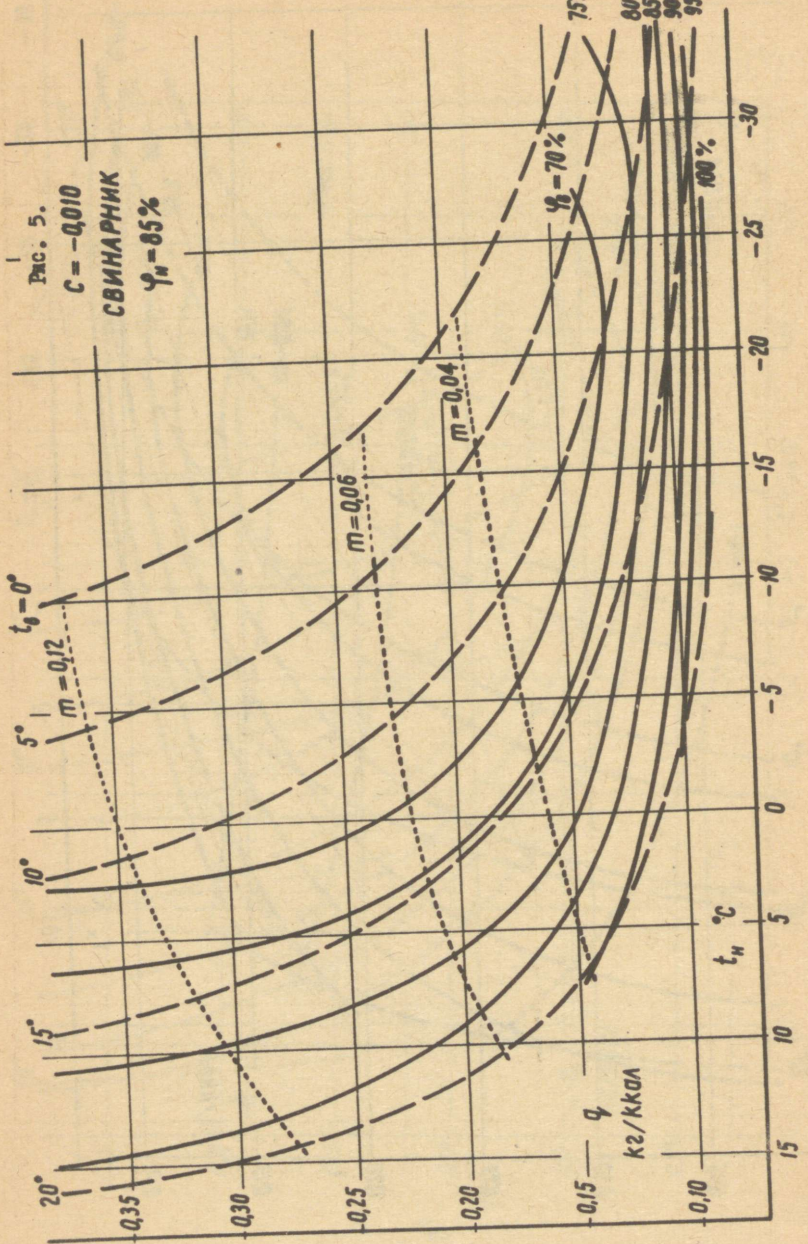


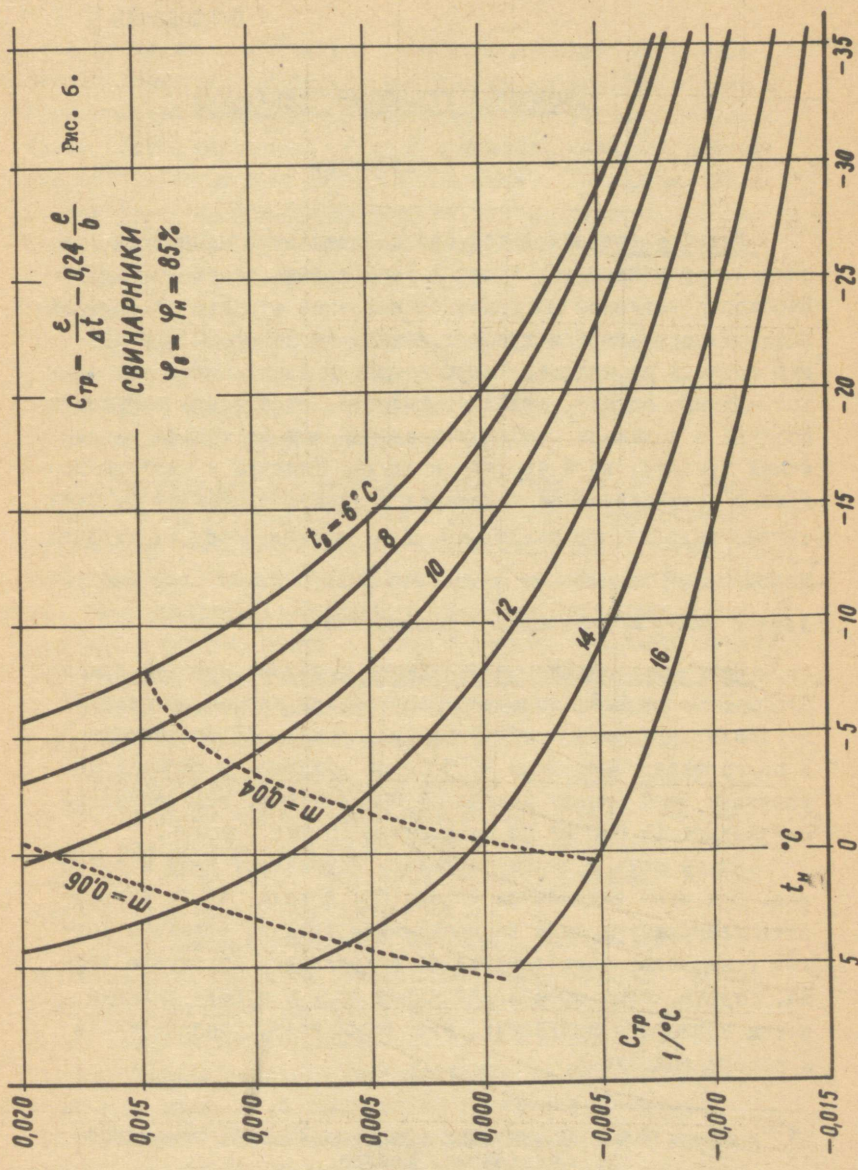
Рис. 5.

$C = -0,010$

СВИНАРНИК

$\varphi_H = 85\%$





ЭКОНОМИКА УТЯШЕНИЯ СВИНАРНИКА

Л. Бргенсон

Дикий зверь обходится без специального помещения, но зато и потребляет всю энергию пищи только на свои нужды. Высокопродуктивное же домашнее животное отвыкло от условий жизни дикого зверя и требует защиты от непогоды — в первую очередь от холода. Такую защиту и должно дать ему здание. Здание однако, отделяет животное от свежего наружного воздуха и подымает проблему создания ему не только надлежащей теплоты, но и чистоты воздуха. Теплота и чистота воздуха в неотапливаемом помещении должны создаваться за счет тепла, выделяемого животными. Для решения проблемы следует исходить из законов строительной физики со строгим соблюдением фактора экономики производства.

Важность соблюдения экономики поясняет простой пример. Проф. Комаров Н.М. оценивает перерасход кормов, вызванный неудовлетворительным климатом свинарника, 25 процентами \*. В свинарнике вмещающем 1000 голов и дащем в нормальных условиях за 4 зимних месяца 60 000 привеса, недополучение составляет 15 000 кг со стоимостью 15 тыс. рублей.

Чтобы жить и расти, организм потребляет пищу и кислород. При этом выделяется тепло,  $\text{CO}_2$  и вода. Чтобы удерживать температуру тела на постоянном уровне, организм должен немедленно освободиться от выделяемого отходного тепла. Отдача тепла происходит через кожу и органы дыхания путем теплового излучения, испарения воды, теплопередачи и обмена воздуха.

---

\* Комаров Н.М. Вентиляция животноводческих помещений. Сельхозгиз. Москва.

Поскольку температура тела теплокровного организма должна держаться на строго постоянном уровне, то отдача и производство тепла требуют постоянного и точного регулирования (терморегуляции). Если в чрезмерно холодном помещении потери тепла уже не могут покрываться отходным теплом, то организм вынужден покрывать их путем производства добавочного тепла из питательных веществ крови. В первую очередь для этого используются белки, самые дефицитные пищевые вещества.

Высокая продуктивность требует поэтому создания таких условий теплового баланса организма, при которых потери тепла легко покрываются отходным теплом, и организм может функционировать полной эффективностью.

Хвотноводческое здание, являясь как бы общей шкурой и кожей всему поголовью, должно выполнять и аналогичные функции регулирования теплового и влажностного режима. Оно должно иметь установку, аналогичную механизму терморегуляции теплокровного организма. Отличие здесь только в том, что обмен воздуха имеет в терморегуляции организма существенную роль, в регулировании же режима помещения — исключительно: пары и газы, как и основное количество тепла, удаляются из помещения только путем обмена воздуха.

Удаление водяного пара является при этом первой задачей. Представление о ее величине дает пример. Тысяча 70 кг. свиней выделяют через кожу и органы дыхания округленно 100 кг водяного пара в час — 2400 в сутки — к чему прибавляются еще испарения с пола.

Единственным практичным методом удаления такого количества пара является интенсивный обмен воздуха, объем которого составляет величину порядка 20 000 м<sup>3</sup> в час. Обмен воздуха требует мощной установки аэрации, но в первую очередь большого расхода тепла на согревание обмениваемого воздуха до температуры помещения. Отходное тепло животных должно покрывать как потери тепла через ограждения, как и расход тепла на воздухообмен, т.е. на удаление чрезмерной влаги. Чем выше потери через ограж-

дения, тем меньше остается тепла на воздухообмен. Это идет в ущерб тепловлажностному режиму помещения, а следовательно и условиям деятельности живого организма, т.е. продуктивности скота. Недостаток тепла влияет как непосредственно через вызванную прохладой потребление пищевой энергии на добавочное производство тепла, так и косвенно через вызванное ограничением воздухообмена ухудшение режима чистоты воздуха, что затрудняет деятельность организма.

Превращение пищевой энергии в тепло регулируется организмом без вмешательства обслуживающего персонала. К сожалению, однако, корма, жир и мясо являются дорогими видами топлива. К тому же их потребление на согревание тела происходит скрыто, чего не видит и часто не учитывает хозяйство.

В условиях недостаточной теплоты помещения корма, над которыми уже проделана вся работа по их выращиванию, уборке, хранению, подготовке, подаче и даже перевариванию в пищевом тракте животного, идут на производство тепла вместо мяса и жира.

Создание благоприятного режима помещения требует, как сказано, интенсивной аэрации, что в свою очередь требует большого количества тепла. Дают тепло животные, а тратят его ограждения. Следует, поэтому, заботиться о достаточной заселенности и о возможно высоком утеплении помещения, помня при этом, что утепляем здание только один раз, а сэкономленным теплом пользуемся во весь период его службы.

Параметром, яснее всего характеризующим качество теплового хозяйства свиноводника, служит модуль теплопотерь  $C$  показывающий, какая доля притока общего тепла ( $\Sigma Q_0$ ) теряется через ограждения на градус температурного перепада ( $\Sigma kF$ ), т.е.  $C = \Sigma kF / \Sigma Q_0$ . Этот показатель охватывает как заселенность помещения, так и его утепление - факторы, определяющие возможный обмен воздуха, а, следовательно, и условия создания благоприятного режима для высокой продуктивности.

Суточный привес животного зависит, конечно, не только от тепловлажностного режима помещения, но и от кормления, ухода, наследственности и ряда других факторов. Однако в пределах маленькой республики эти обстоятельства не меняются в особо высоких пределах, и такой основной фактор, как режим помещения (определяемый модулем теплопотерь), должен ясно сказаться, если проанализировать достаточно большое число наблюдений.

Такая работа была проведена Таллинским политехническим институтом в сотрудничестве с Гипроиссельхозом. Были проанализованы данные о приросте бекожных свиней в 90 откормочниках Эстонской ССР за 124 годовых цикла содержания животных. Данные для каждого цикла получались из результатов 12 взвешиваний всего поголовья и соответственных расчетов величины модуля теплопотерь.

Анализ ясно показал, что с понижением  $C$ , т.е. с повышением утепления и заселенности помещения привесы повышаются. Формула линии регрессии, относительно которой сумма квадратов отклонений является минимальной, получилась

$$\Pi = \Pi_0 - \Delta c = 0,535 - 8,90 \text{ с кг/сутки}$$

где  $\Pi$  - средний привес животного кг/сутки. Согласно этому снижение величины  $C$  на  $0,01$  I/град повышает привес на  $89$  г/сутки <sup>х)</sup>. Анализ также показал, что среднее выделение общего тепла животными составляет округленно  $Q = 150$  ккал/м<sup>2</sup> час и что на одно животное приходится  $1,3$  м<sup>2</sup> площади помещения.

Перекрытие является самым важным ограждением и его утепление имеет решающее значение на режим помещения. Для четкого выявления роли перекрытия следует величину  $C$  разделить на две части: на долю тепла, теряемую через все остальные ограждения  $C_0$  и на долю перекрытия  $\frac{K_n F_n}{\Sigma Q_0} = \frac{1}{\alpha R_{on}}$  где  $\Sigma Q_0: F_n = \alpha$  - выделение тепла на м<sup>2</sup> пола (горизонтальной проекции перекрытия). Величина  $C_0$  получилась в среднем  $C_0 = 0,005$  I/град. Подставив  $C = C_0 + \frac{1}{\alpha R_{on}}$ , получим формулу привеса на животное

$$\Pi = \Pi_0 - A \left( C_0 + \frac{1}{\alpha R_{on}} \right) \quad \text{кг/сутки}$$

Годичная стоимость привеса на м<sup>2</sup> пола составляет

$$P = 365 \frac{r}{f} \left[ \Pi_0 - A \left( C_0 + \frac{1}{\alpha R_{on}} \right) \right] \quad \text{руб/м}^2 \text{ год}$$

где  $r$  - стоимость привеса в руб/кг.

$f$  - площадь пола (гор. проекции перекрытия) на животное в м<sup>2</sup>

Стоимость утепления м<sup>2</sup> площади гор. проекции перекрытия на  $R$  единиц выражается уравнением

$$C_0 + \lambda MR \quad \text{руб/м}^2$$

где  $C_0$  - стоимость новой крыши в руб. на м<sup>2</sup> гор. проекции

<sup>х)</sup> Коэффициент корреляции получился  $r_{xy} = -0,446$ ; средняя ошибка коэффициента  $0,072$ , и их соотношение  $6,18$ , что согласно законам математической статистики подтверждает уверенность в полученной связи.

$\lambda$  - коэфф. теплопроводности утеплителя ккал/м град, час  
 $M$  - стоимость утеплителя в конструкции руб/м<sup>3</sup>.

Как показывает анализ типичных откормочников шириной выше 16 м, стоимость единицы термического сопротивления ( $\lambda M$ ) составляет в случае применения сухих опилок  $\lambda M = 0,16$  руб/м<sup>2</sup>, а в случае шлаковаты  $\lambda M = 1,0$ .

В случае помещения с совмещенным перекрытием для укладки экономически обоснованного слоя утеплителя приходится, как правило, поставить стропила и устроить новую крышу. Это поднимает стоимость утепления в среднем на  $\eta_0 = 5,15$  руб/м<sup>2</sup>.

Общая стоимость прироста и утепления перекрытия за  $n$  лет  $x$ ) составляет

$$P_0 = 365 \frac{n \eta}{f} \left[ P_0 - A \left( C_0 + \frac{1}{\alpha R_{on}} \right) \right] + \eta_0 + \lambda M R_{on} \text{ руб/м}^2 \quad (1)$$

Производная этого уравнения по отношению к  $R_{on}$ , т.е. изменение стоимости продукции при изменении  $R_{on}$  на одну единицу, составляет

$$\frac{dP_0}{dR_{on}} = -365 \frac{n \eta A}{f \alpha R_{on}^2} + \lambda M \quad (2)$$

Экономически оптимальная величина  $R_{on}$ , соответствующая наименьшей себестоимости продукции, определяется из приравнения нулю полученной производной

$$R_{on}^{opt} = \sqrt{365 \frac{n \eta A}{f \alpha \lambda M}} \quad \text{м}^2 \text{ час град/ккал} \quad (3)$$

Экономически оптимальная величина утепления зависит от стоимости прироста ( $\eta$ ), показателя прироста ( $A$ ), густоты заселенности ( $\alpha$ ), стоимости единицы термического сопротивления материала утеплителя ( $\lambda M$ ) и принимаемого в расчет числа лет ( $n$ ), т.е. коэффициента эффективности капитальных вложений ( $1/n$ ). Все прочие факторы стоимости выпали при дифференцировании, и, следовательно, не влияют на оптимальную величину утепления.

$x$   $\frac{1}{n}$  - коэфф. эффективности капитальных вложений.

Для примера расчета берем приведенные выше показатели, полученные из практики Эст. ССР:  $A = 8,9$ ;  $p = 1$  руб/кг;  $f = 1,3 \text{ м}^2/\text{ж}$ ;  $a = 150 \text{ ккал/м}^2\text{час}$  и  $n = 7,5$  лет, (т.е. коэффициент эффективности  $1:n = 0,13$ ). Согласно формуле 3 получим в случае опилок  $R_{on}^{opt} = 28$  и в случае шлаковаты  $R_{on}^{opt} = 11$ .

Этих математически выведенных величин, которые округленно в 10 раз превышают  $R_{on}$  в существующих свинарниках, нет смысла полностью добиваться на практике, ибо абсолютное повышение прироста понижается практически пропорционально квадрату  $R_{on}$  (см. формулу 2), и становится малым при высоких значениях  $R_{on}$ .

Расчитанное по формуле (1) повышение дохода от добавочного утепления перекрытия в  $1000 \text{ м}^2$ , имеющего  $R_{on} = 1$  (равное  $R_0$  полметровой кирпичной кладки), показано в таблице 1 (при  $n = 7,5$  и,  $\lambda M = 0,16$  и  $n_0 = 5,15 \text{ руб/м}^2$ ) Первая строка относится к зданию с чердаком, вторая к зданию с совмещенным перекрытием.

Таблица 1

$R_{on}$	1	2	3	4	6	8
Выигрыш	0	6500	11250	12500	13800	14500
руб/год	0	7700	10500	11800	13100	13800

В случае совмещенного перекрытия, требующего утепления новой крыши ( $n_0 = 5,15 \text{ руб/м}^2$ ), стоимость утепления повышается на 700 руб/год (при  $n = 7,5$ ), а дополнительный выигрыш от утепления снижается по той же мере, но все же окупаются за одну зиму.

Как видим из таблицы 1 и формулы 2 дополнительный выигрыш от повышения  $R_{on}$  на одну единицу ( $\text{м}^2\text{пол.руб/год}$ ) становится малым при высоких значениях  $R_{on}$ , но даже при  $R_{on} = 8$  составляет в названном здании 1000 руб/год - это стоимость трех бекорных свинок по 300 кг.

В условиях Эстонской ССР, где опилки, как правило, являются недефицитным утеплителем, передовые хозяйства утепляют перекрытия 0,4 - 0,5 м слоем. Это поднимает  $R_{оп}$  на 5 единиц, что на свиновник в 1000 м<sup>2</sup> (770 голов) дает при  $R_{оп} = 1$  выигрыша 13800, а при  $R_{оп} = 2$  - 5700 руб./год. При этом резко улучшается режим помещения.

Повышение  $R_{оп}$  с 1 до 6 повышает суточный привес животного на 54 г/сутки. Таким образом при  $f = 1,3$  м<sup>2</sup> на одно животное, расход в 1,04 руб. (7,73 руб. в случае совмещенного перекрытия) на утепление повышает продуктивность животного во весь срок службы здания на 18 кг в год. Число свиней в СССР - 58 миллионов.

Утепление или отопление? Названное выше утепление перекрытия в 1000 м<sup>2</sup>, имеющего  $R_{оп} = 1$ , сэкономит при 20-градусном температурном перепаде помещению 400 000 ккал/сутки, т.е. дает эффект равный семнадцати комнатным печам с расходом 200 кг березовых дров в сутки.

Утепление перекрытия дает помещению теплую шубу, которая не требуя ни расхода топлива ни рабочей силы, способствует продуктивности во весь период службы здания - при холоде и при жаре. Поэтому, в первую очередь - высокое утепление и лишь затем отопление, если необходимо.

Экономика пожарной безопасности требует в первую очередь учета порой забываемых законов физики горения. Вследствие медленного доступа кислорода, опилки, как известно, не горят пламенем, а только медленным тлением.

Даже в 850-900°C пламени газовой горелки горение сухих и не обработанных антипиреном опилок продвигается вглубь со скоростью ниже 2 мм в минуту. Каждый дециметр слоя опилок замедляет поэтому продвижение пожарного огня округленно на один час. Это сильно повышает сопротивление перекрытия пожару, облегчает локализацию и тушение пожара, и, что очень важно при древесном перекрытии, позволяет спасти скот.

В случае бетонного перекрытия от горения утеплителя может пострадать только крыша со стоимостью порядка 5000 руб. на 1000 м<sup>2</sup>. Даже при преувеличенной вероятности пожара в 0,0025 1/год, его стоимость, т.е. оправданная с точки зрения народного хозяйства стоимость мер по полному предотвращению сгорания, составляет 5000.0,0025 = 12,4 руб/год. Это ничтожно малая сумма по сравнению со стоимостью эмигрантской продукции. Можно утверждать, что вызванная слабым утеплением высокая влажность, способствующая развитию гнилостных грибов, причиняет сельскому хозяйству больший ущерб, чем огонь. С точки зрения народного хозяйства следовало бы поручить Ю также борьбу с сыростью животноводческих зданий.

Высокое утепление существенно снижает и часто полностью исключает необходимость отопления, что в свою очередь снижает вероятность возникновения пожара.

Упомянем для сравнения, что солома дает округленно 4 раза более низкое утепление, чем опилки, быстро горит пламенем, и является поэтому на много более пожароопасным и менее эффективным утеплителем.

---

Trükkimisele antud 23.04.69. MB-04424. F. 60x84. 1/16.

Trükipoognaid 2,5. Tingpoognaid 2,32. Trükiarv 300.

---

PI "EKE Projekti" rotaprint.

Tell. nr. 100-69.

Tasuta



XI

A

1A-19690

250140