

Х. П. ОТЛОТ

**ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕПЛА ЛОЖЕМ
ЖИВОТНОГО ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ
ПОЛЬЗОВАНИИ**

Х. П. ОТЛОТ

**ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕПЛА ЛОЖЕМ ЖИВОТНОГО ПРИ
ПЕРИОДИЧЕСКОМ ПОЛЬЗОВАНИИ**

АННОТАЦИЯ

Настоящая работа является продолжением труда «Поглощение тепла ложем животного», опубликованного в Трудах Таллинского Политехнического Института 1957 года, Серия А, № 103.

В настоящей работе исследуется вопрос: какое влияние на теплопоглощение имеет аккумуляция тепла в толще пола при периодическом нагревании ложа теплом лежащего животного.



I. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПОЛА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ПОЛЬЗОВАНИИ ЛОЖЕМ

В предыдущей работе тепловой режим различных видов лежа рассматривался только в течение двух первых часов лежания животного (или моделирующего прибора) на ложе, начальная температура поверхности и материала которого была принята $+6,0^{\circ}\text{C}$, без учета фактора периодичности пользования ложем. Полученные таким образом данные устанавливают очередность разных видов полов с точки зрения поглощения тепла ложем из организма лежащего животного.

За эти два часа тепло, воспринятое поверхностью пола из организма животного, проникает в материал пола в основном только до глубины около 10 см. Имея в виду, что площадь соприкосновения крупного животного с ложем составляет примерно 1 м^2 , имеется основание рассматривать данный случай как одномерную задачу, при которой движение тепла происходит только в одном направлении — сверху вниз. Проведенные на этом основании аналитические решения совпадают с практически измерениями, при которых применялся нагревательный диск диаметром 80 см, площадью $0,5\text{ м}^2$.

Решение одномерной задачи дало бы правдивые результаты и в том случае, если бы сравнительно большая поверхность пола покрывалась теплотворным телом на более долгое время, т. к. при большой площади соприкосновения горизонтальное движение тепла перпендикулярно контуру имело бы незначительное влияние на общую картину движения тепла, которое, в основном, происходит сверху вниз.

В условиях коровника площадь соприкосновения всего лежащего стада с полом составляет только $1/10$ — $1/15$

часть всего пола, причем за наибольшее расстояние от каждой точки соприкосновения до ближайшей точки контура можно считать около 0,3 м. При периодическом лежании существенные изменения температуры в толще пола распространяются на глубину в 1,0—1,5 м от поверхности пола. Из сравнения приведенных величин вытекает, что тепло должно в данном случае распространяться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, т. е. по всем трем осям координат. Математическое решение задачи осложняется тем, что в период лежания 1/10—1/15 часть пола воспринимает тепло, а остальная часть — отдает тепло воздуху, причем распределение температур определяется не только величиной площади восприятия, но и формой ее контура, вместе с взаимоположением отдельных площадей соприкосновения. Бетонные кормушки, металлические трубы, заделанные в пол стойки перил и т. п. конструкции также влияют на условия нагревания и охлаждения пола.

Из этого явствует, что при учете длительного периодического пользования ложем в действительных условиях животноводческого помещения является чрезвычайно трудным математически установить истинную картину распространения тепла в массиве пола и его основания.

Теоретическое изучение вопроса поглощения тепла полом, без учета распространения тепла в горизонтальном направлении, представляет интерес как первое приближение к действительности, позволяющее установить основные закономерности для чередующихся циклов нагревания и охлаждения пола. Трудоемкость вычислений при решении одномерной задачи

$$\frac{\partial t}{\partial Z} = \frac{\lambda}{c\gamma} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

является преодолимой по методу конечных разностей.

Автором были проведены точные вычисления для десяти первых периодов лежания. В качестве типичного примера был взят бетонный пол с кирпичным щебнем. Полученные результаты, вычерченные на графике с логарифмической сеткой, позволяют экстраполировать выявленную закономерность на весь зимний период (6 месяцев).

Краевые условия, взятые в основу расчетов.

А) Начальное распределение температур:

- температура тела $+39,0^\circ$ (постоянная);
температура кожи в каж-
дый начальный момент,
когда животное ложится $+31,0^\circ$;
начальная температура по-
ла и основания перед пер-
вым периодом нагревания $+6,0^\circ$;
температура воздуха $+6,0^\circ$ (постоянная).

Б) Расчетные физические по- казатели.

Для бетонного пола с кир-
пичным щебнем, а также и
для основания (грунта) на
протяжении прогрева при-
няты следующие расчетные
физические показатели:

объемный вес $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$;

коэффициент теплопроводности

$$\lambda = 0,75 \text{ ккал/м час град.}$$

удельная теплоемкость

$$c = 0,20 \text{ ккал/кг град.}$$

Условные показатели для кожи животного:

толщина $\delta = 0,008 \text{ м}$;

$$\lambda = 0,16 \text{ ккал/м час град.}$$

$$c = 0,43 \text{ ккал/кг град.}$$

$$\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3.$$

Термическое сопротивление как для кожи, так и для
волосяного покрова принято

$$R = 0,05 \text{ м}^2 \text{ час град/ккал,}$$

причем теплоемкость волосяного покрова, ввиду ее ма-
лости, принята равной нулю.

Коэффициент теплоотдачи пола воздуху помещения

$$\alpha = 7,5 \text{ ккал/м}^2 \text{ час град.}$$

В) При расчетах продолжительность каждого нагревания установлена на 6 часов, как и продолжительность охлаждения между нагреваниями.

Полный период — 12 часов.

Автором были выведены формулы расчета, позволяющие примененные при прежних расчетах интервалы времени,

$$\Delta Z = 1/30 \text{ час} = 2 \text{ мин.},$$

заменить значительно большими, избегая при этом беспорядочный, скачкообразный характер изменения температуры, который наблюдается при превышении величины $\Delta Z_{\text{макс.}}$ при обычном способе вычисления. ($\Delta Z_{\text{макс.}}$ определяется толщиной и физическими показателями кожи; в данном случае

$$\begin{aligned} \Delta Z_{\text{макс.}} &= \frac{c\gamma\delta^2}{4\lambda} = \frac{0,43 \cdot 1300 \cdot 0,008^2}{4 \cdot 0,16} = \\ &= 0,0559 \text{ часа} = 3,354 \text{ мин}). \end{aligned}$$

Без значительного ущерба для точности при расчете нагревания интервал времени был повышен до 8 мин.

При расчете охлаждения выбор интервала времени при данных краевых условиях неограничен, так как в однородном материале пола расчетные слои могут быть произвольной толщины. При вычислениях процесса охлаждения интервалы времени были приняты в 1/4 часа.

Соответственно этим интервалам толща пола и основания его составлялась из следующих расчетных слоев, считая сверху вниз:

а) при расчетах нагревания:

$$14 + 12 + 5 \cdot 24 + n \cdot 48 \text{ мм.}$$

б) при расчетах охлаждения:

$$38 + n \cdot 32 \text{ мм.}$$

где n означает целое число.

Результаты вычислений приведены на приложенных диаграммах. На рисунке 1 изображены кривые температур в начале и в конце каждого шестичасового нагревания с промежуточными охлаждениями также в течение 6 часов. Результаты нагревания предварительно ненагретого пола обозначены цифрой 1 с индексами n — начало и k — конец.

Повторные нагревания отмечены по порядку номерами 2, 4, 8 и 10 с теми же индексами. Упомянем, что температуры эти являются максимально возможными, достигаемыми только при 100-процентном покрытии пола теплопроводными телами.

Из рисунка 1 можно сделать следующие выводы:

- а) Наибольшие колебания температуры наблюдаются на поверхности пола. В толще пола колебания потухают, превращаясь в нижних слоях в постоянное и почти равномерное приращение температуры.
- б) Разница температур массива пола в двух последующих периодах, определенная для соответствующих моментов времени, является максимальной не на поверхности пола, а на некоторой глубине (в данном случае около 30 см). При этом приращения температур от периода к периоду последовательно уменьшаются. Хотя предельной температурой поверхности пола является температура тела животного, т. е. $+39,0^\circ$, приближение к этой температуре требует бесконечное число периодов нагревания-охлаждения, т. к. при повышении температуры поверхности пола уменьшается температурный перепад и вместе с тем приток тепла.

Представляется целесообразным изображать в дальнейшем температурные перепады от внутренних тканей организма к поверхности пола (Δt) по логарифмической шкале (см. рис. 2). Так как интенсивность теплопоглощения q_z почти пропорциональна величине Δt_z , то и для q'_z также и для количества поглощенного тепла Q'_z удобно применять логарифмическую шкалу (рис. 3 и 4).

Как показывает рис. 1, первые периоды нагревания меняют температуры в массиве пола значительно больше чем последующие: чередующиеся подогревания и охлаждения стремятся стабилизировать амплитуды колебаний.

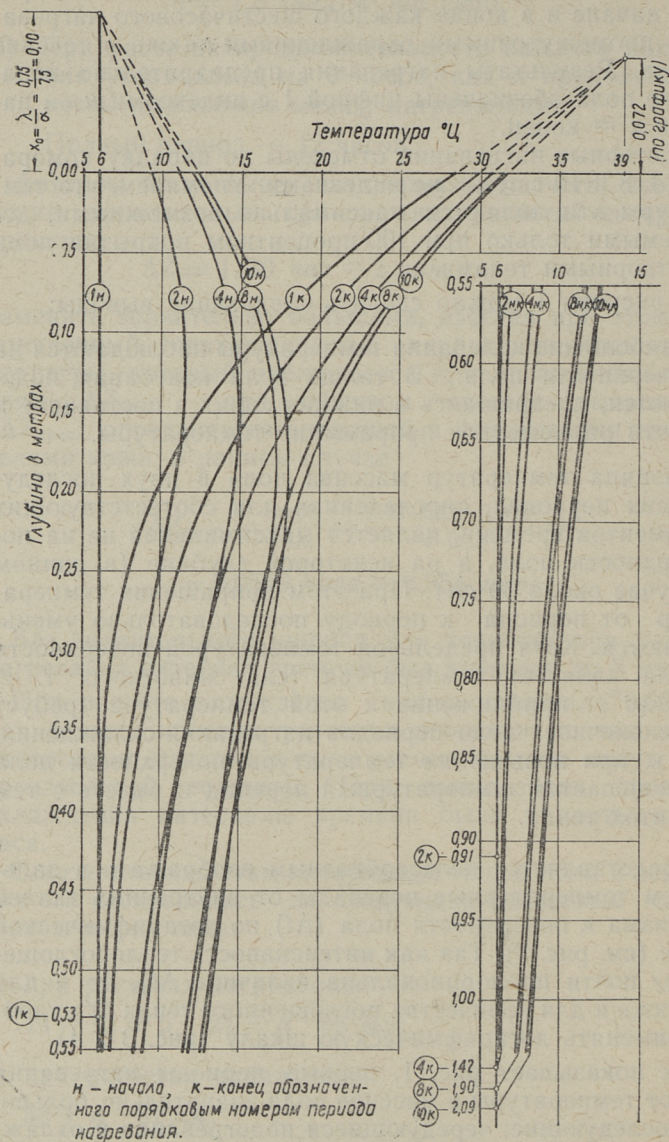


Рис. 1. Распределение максимально возможных температур бесгонного пола с кирпичным щелем при периодическом пользовании.

Взаимное расстояние кривых 4-го и 8-го периодов приблизительно равняется расстоянию кривых 2-го и 4-го периодов и 1-го и 2-го периодов. Следовательно, и периоды подогревания-охлаждения целесообразно изображать по логарифмической шкале (рис. 2—4).

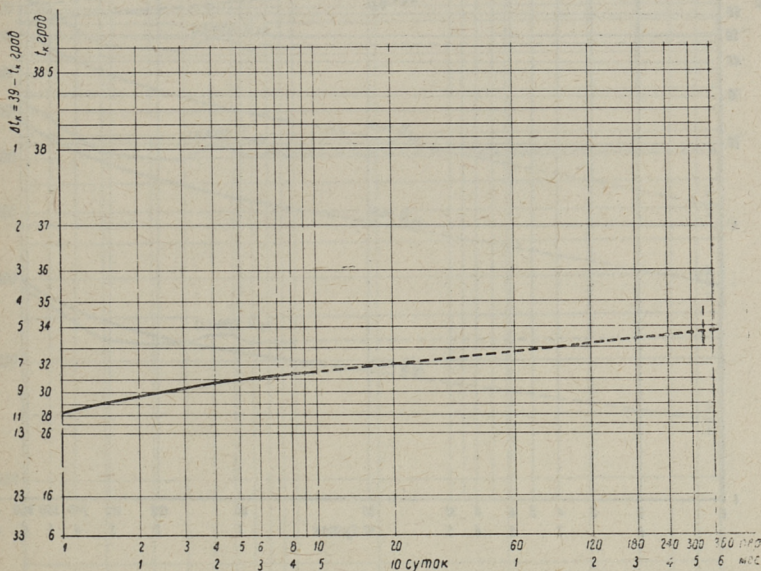


Рис. 2. Максимальные температуры поверхности бетонного пола с кирпичным щебнем при периодическом пользовании.

На рисунках 2—4 приведены результаты вычислений, изображенные по логарифмической шкале. Обстоятельство, что все кривые в промежутке от 5-го до 10-го периода явно выпрямляются, позволяет их удлинить с достаточной для обобщений точностью до конца зимнего периода (6 месяцев). Эти графики являются предельными и в условиях коровника практически недостижимыми. Имея в виду, что в коровнике в период лежания только 1/10—1/15 часть пола воспринимает тепло, а остальная часть отдает аккумулированное тепло воздуху круглые сутки, кривая действительных температур должна находиться значительно ниже предельной (рис. 2) и должна быть менее крутой.

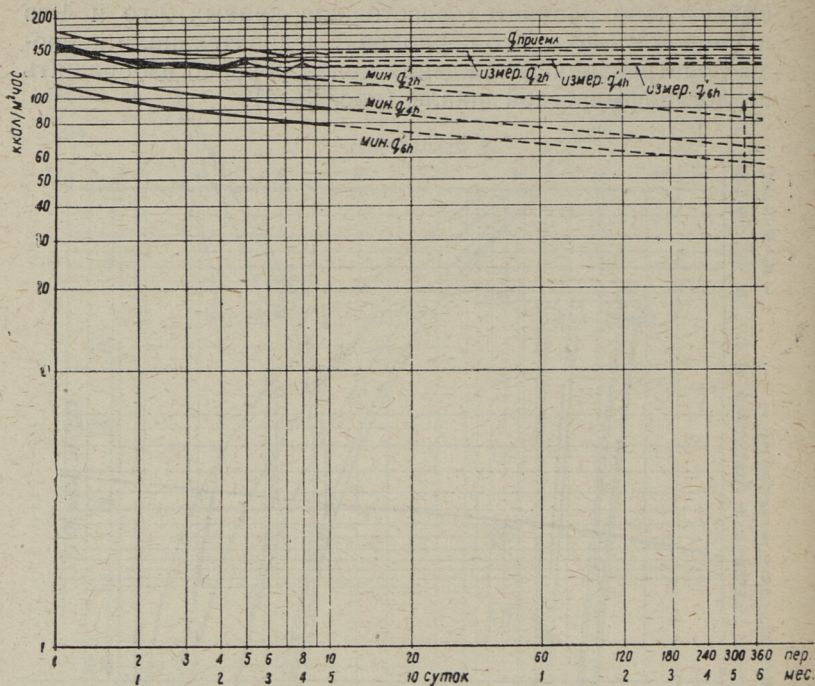


Рис. 3. Сравнение минимальных интенсивностей поглощения тепла бетонным полом при периодическом пользовании с результатами практических измерений.

Интенсивности поглощения тепла в условиях эксплуатации должны быть больше изображенных на рис. 3, также и количества поглощенного тепла должны быть больше, чем показанные на рис. 4. Так как общее количество тепла, получаемое полом, должно быть меньше, а количество, отдаваемое воздуху — больше, чем по приведенному расчету, то в условиях коровника уже через несколько периодов должно установиться равновесие и повторение циклов. Действительные условия в коровнике на рисунках 2—4 должны дать кривые, стремящиеся к постоянности ординат. Это доказывается и результатами измерений на модели, нанесенными на рисунки 3 и 4.

Обстоятельство, что на рисунке 4 измеренное Q'_{2h} при первых периодах меньше, чем теоретическое минимальное — объясняется неровностью пола, уменьшающее показание прибора, как правило, на около 10%.

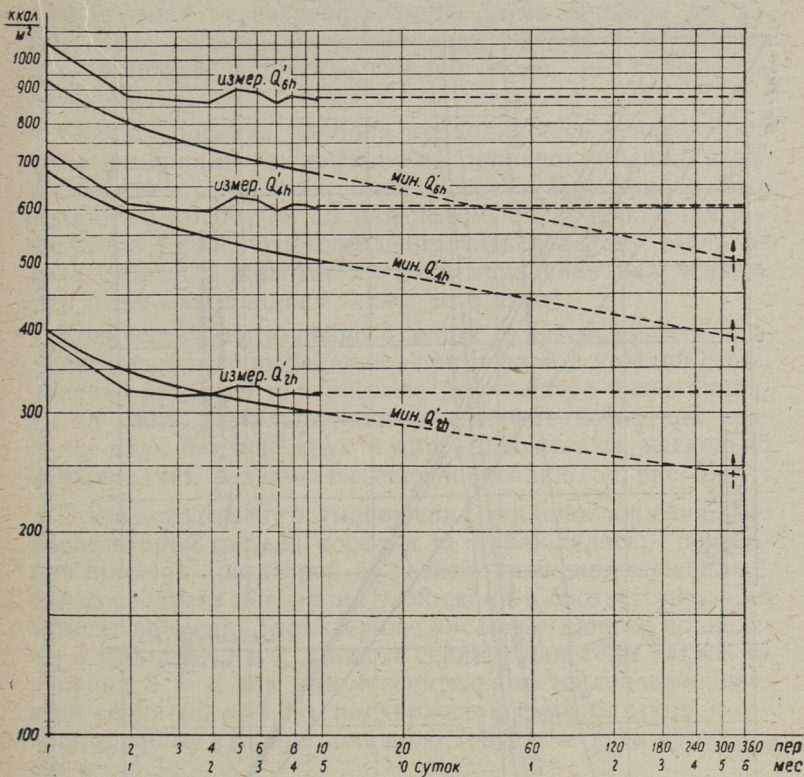


Рис. 4. Сравнение минимальных количеств тепла, поглощаемых бетонным полом при периодическом использовании с результатами практических измерений.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ НАГРЕВАНИЯ НА ТЕПЛОПОГЛОЩАЕМОСТЬ ЛОЖА

Было проведено всего 4 серии измерений при помощи электрического прибора, моделирующего процесс теплоотдачи организмом лежащего животного материалу

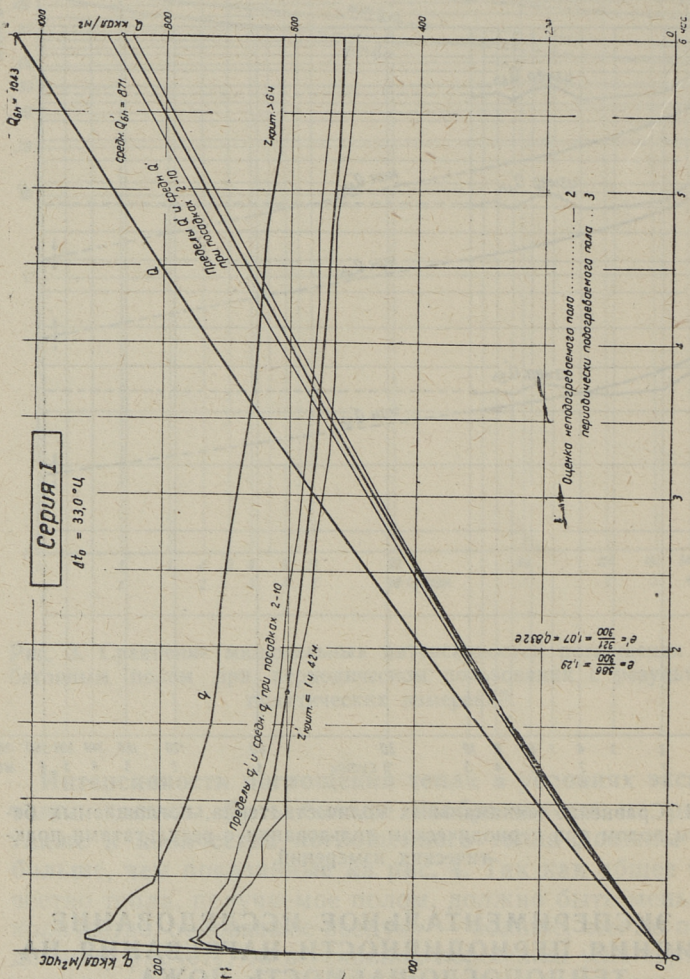


Рис. 5. Результаты периодической посадки прибора на старый сухой бетонный пол (серия I).

ложа. Две серии посадок были проведены на старом сухом бетонном полу и две на дощатом полу по бетонному основанию.

Перед первой посадкой в каждой серии температурный перепад от нагревательного диска прибора до поверхности пола был урегулирован на $33,0^{\circ}\text{C}$. Температура прибора в течение каждой серии держалась постоянной.

Каждая посадка прибора продолжалась 6 часов; при этом измерялась интенсивность теплопоглощения в зависимости от времени. Между посадками прибор был поднят на высоту 50 см над полом, без выключения регулятора топки, чтобы моделировать передачу тепла из тела стоящего животного полу коровника излучением. Эти перерывы длились также по 6 часов.

Количество поглощенного тепла и интенсивность теплопоглощения, определенные при первой в каждой серии посадке прибора, при анализе результатов были приняты за 100%. Остальные посадки любой серии, как правило, дали близкие друг к другу результаты, несколько меньшие, чем результаты первой посадки (см. рис. 5—8).

Последовательного уменьшения теплопоглощения уже после второй-третьей посадки не наблюдалось; показания прибора при второй до десятой посадках колебались около среднего показания этой серии в соответствующий момент времени. Характерные числовые данные приведены в таблицах 1 и 2. Данные серии 1 нанесены также на рисунки 3 и 4, так как относительное теплопоглощение этой серии ($e_T = 1,29$) получилось весьма близким к относительному теплопоглощению теоретического примера, где $e = 1,30$.

Для вывода обобщающих итогов результаты испытаний рассматривались в функциональной зависимости от относительного теплопоглощения e . Выяснилось, во первых, что относительное теплопоглощение периодически нагреваемого пола (e') не является пропорциональным величине относительного теплопоглощения пола в начальном цикле (e), и определяется (см. табл. 3) с достаточной точностью по эмпирической формуле

$$e' = e - 0,13 e^2$$

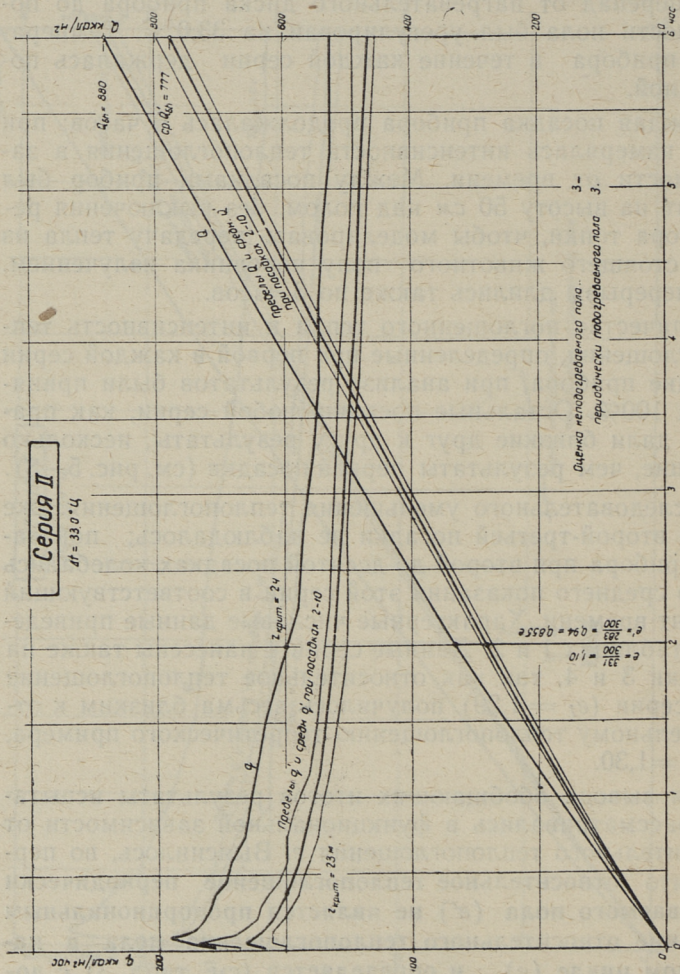


Рис. 6. Результаты периодической посадки прибора на старый сухой бетонный пол (серия II).

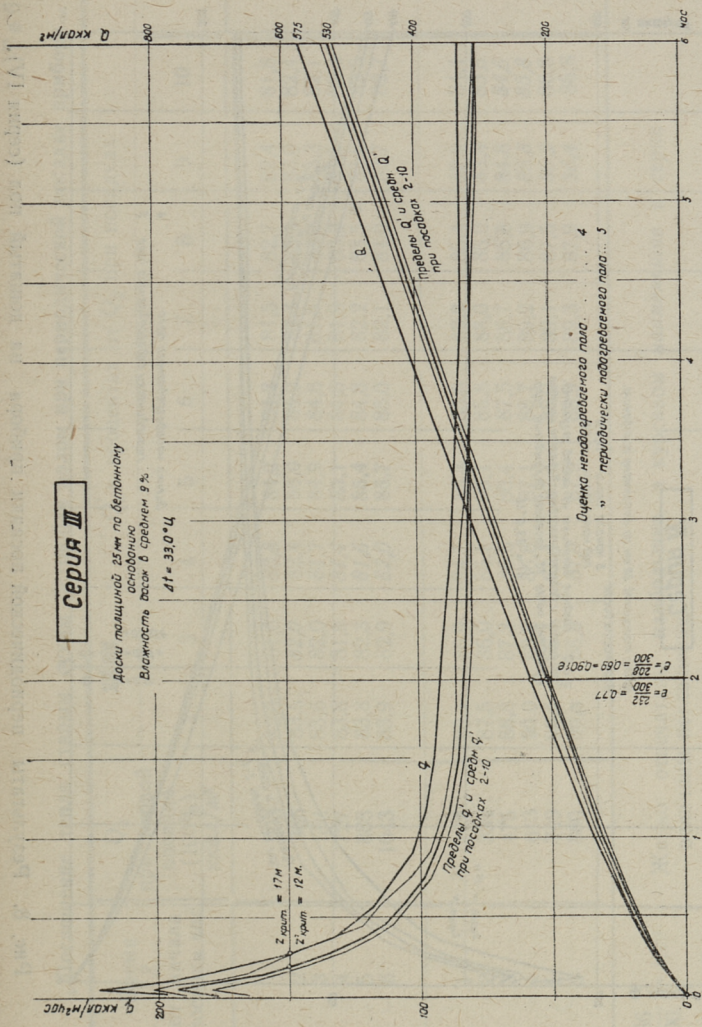


Рис. 7. Результаты периодической посадки прибора на дощатый пол (серия III).

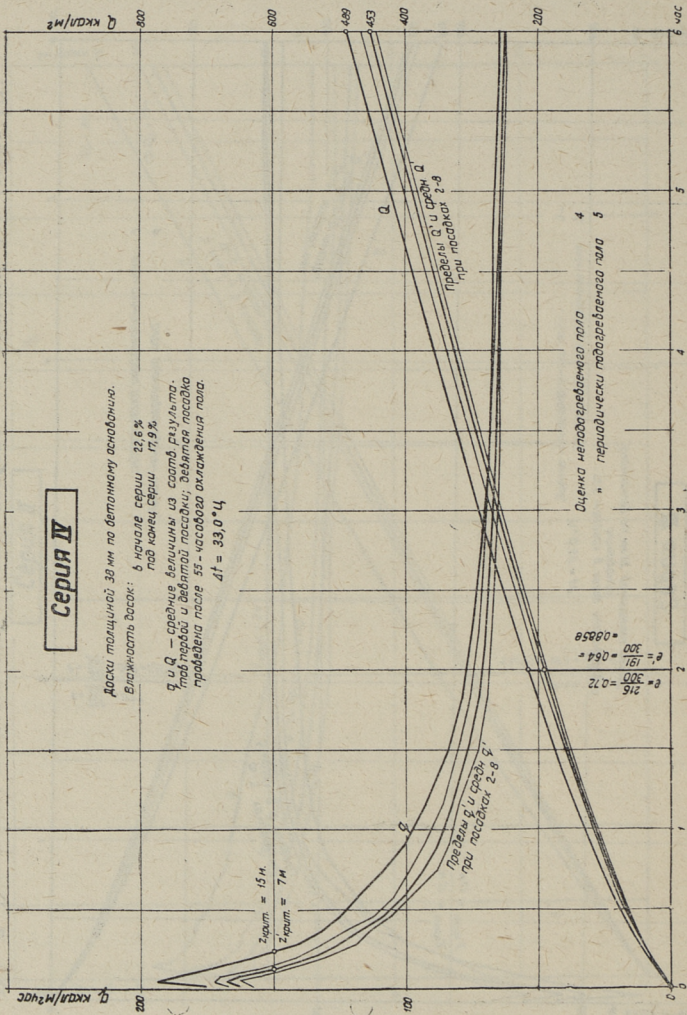


Рис. 8. Результаты периодической посадки прибора на дощатый пол (серия IV).

Поглощение тепла дощатым полом по бетонному основанию при периодической посадке прибора

Серия	Время Z от начала посадки час	Q_z при первой посадке (100%) ккал/м ²	Q'_z в процентах от Q_z при посадках										Средн. 2—10
			2	3	4	5	6	7	8	9	10		
III	1	137	95,5	90,8	88,2	90,2	89,3	86,7	87,9	88,7	90,1	89,8	
	2	232	93,0	91,8	88,4	90,8	90,3	87,8	88,7	89,9	90,3	90,1	
	3	322	91,9	92,9	88,9	91,1	91,0	88,5	89,6	90,8	90,2	90,6	
	4	408	92,2	93,2	89,8	91,6	91,7	89,5	90,4	91,5	90,9	91,2	
	5	491	92,9	93,7	90,9	92,4	92,4	90,6	91,4	92,3	91,7	92,0	
	6	575	92,9	93,9	91,2	92,5	92,6	91,0	91,6	92,4	91,7	92,2	
IV	1	131	85,8	90,8	86,6	88,7	85,7	86,4	85,5	—	—	87,1	
	2	216	87,9	92,4	86,7	89,9	87,6	88,0	86,7	—	—	88,5	
	3	290	89,3	93,5	87,8	90,8	89,1	89,4	87,5	—	—	89,5	
	4	357	91,0	94,7	89,5	92,2	90,8	90,8	89,0	—	—	91,2	
	5	424	91,9	95,2	90,6	92,9	91,7	91,6	90,1	—	—	92,0	
	6	489	92,5	95,7	91,4	93,4	92,4	92,1	90,8	—	—	92,6	

Жирно отпечатаны наибольшие, а курсивом наименьшие в серии
зеличины поглощения.

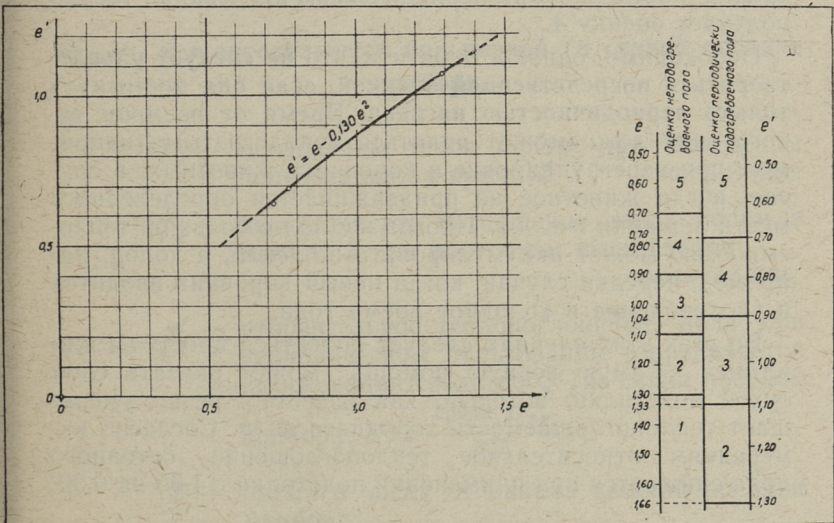
$$e_{III} = \frac{232}{300} = 0,77$$

$$e_{IV} = \frac{216}{300} = 0,72$$

Анализ зависимости e' от e и вывод эмпирической формулы для e' .

Серия опытов	e	$\frac{Q'_{2h}}{Q_{2h}}$ или $\frac{e'}{e}$	$e' = e \frac{Q'_{2h}}{Q_{2h}}$	Общая эмпирическая формула для e'
1	2	3	4	5
I	1,29	$0,832 = 1 - 0,130 e$	1,07	$\left. \begin{aligned} e' &= e(1 - 0,13 e) = \\ &= e - 0,13 e^2 \end{aligned} \right\}$
II	1,10	$0,855 = 1 - 0,132 e$	0,94	
III	0,77	$0,901 = 1 - 0,129 e$	0,69	
IV	0,72	$0,906 = 1 - 0,130 e$	0,65	

Зависимость e' от e графически изображена на рисунке 9. Там же сопоставлены соответствующие оценки полов по правилу, известному из исследований, проведенных ранее.

Рис. 9. Зависимость e' от e .

Составление пятибалльных оценок полов при первом и при повторных пользованиях.

3. ВЫВОДЫ

Периодическое нагревание пола коровника в общем повышает плохую, неудовлетворительную и посредственную оценку на один бал, хорошую оценку — на 1/2 бала. Асфальтовые, бетонные и цементные полы, как правило, имеют $e > 1,33$, поэтому и при периодическом пользовании не получают оценки выше двойки (см. рис. 9). При очень сухом или глубоко рифленом бетоне, при бетоне с кирпичным щебнем и т. п. материалах ($e = 1,10 \dots 1,30$), оценка повышается с 2 на 3, в наилучших случаях ($e < 1,04$) — с 3 на 4. Торцовый деревянный пол ($e = 0,89$), оценка которого балансируется на разделе тройки и четверки, при периодическом нагревании твердо получает оценку 4.

Необходимо, однако, отметить, что не следует удовлетворяться посредственной оценкой, если она достигнута только периодичностью нагрева. Время от времени такого типа ложе может являться неподогретым (например, при перегруппировке в коровнике животных; в случае, когда животное не придерживается определенного места лежания и т. д.). Иногда же пол с большой теплоемкостью может аккумулировать не тепло, а холод, например, нередки случаи, когда новый коровник вводится в употребление в холодное время года.

Во всех этих случаях следует опасаться простуды животных. Самую верную помощь может оказать слой сухой подстилки, который, как известно, резко уменьшает теплопоглощаемость холодного пола. Согласно измерениям относительное теплопоглощение бетонного пола снижается при применении подстилки с 1,35 на 0,30.

Обозначения

Q_Z — количество тепла, поглощенного предварительно ненагретым полом за время Z
ккал/м²;

q_Z — интенсивность поглощения тепла предварительно ненагретым полом в момент времени Z
ккал/м² час;

e — относительное теплопоглощение предварительно ненагретого пола $\left[e = \frac{Q_{2h}}{300} \right]$.

Q_Z , q_Z и e определяются при первой (в серии) посадке прибора.

Q'_Z — поглощение тепла полом при повторном пользовании за время Z
ккал/м² час;

q'_Z — интенсивность поглощения тепла полом в момент Z при повторном пользовании
ккал/м² час;

e' — относительное теплопоглощение пола при периодическом пользовании (определяется на основании среднего Q'_Z из серии посадок прибора; $e' = \frac{\text{средн. } Q'_{2h}}{300}$);

Z — время в часах от начала каждой посадки прибора;

$Z_{\text{крит.}}$ — длительность ощущения прохлады на предварительно ненагретом полу ($Z_{\text{крит.}} = Z$, при котором $q_Z = 150$ ккал/м² час);

$Z'_{\text{крит.}}$ — длительность ощущения прохлады на полу при повторном пользовании ($Z'_{\text{крит.}} = Z$, при котором $q'_z = 150 \text{ ккал/м}^2 \text{ час}$);

Δt_0 — температурный перепад от нагревательного диска к поверхности пола перед первой посадкой прибора ($\Delta t_0 = 39 - 6 = 33 \text{ град}$);

t_n и t_k — температуры поверхности пола соотв. в начале и в конце периода нагрева град;

Δt_n и Δt_k — температурные перепады от нагревательного диска к поверхности пола соотв. в начале и в конце периода нагрева град.

Х. П. Отлоот

ПОГЛОЩЕНИЕ ТЕПЛА ЛОЖЕМ ЖИВОТНОГО ПРИ
ПЕРИОДИЧЕСКОМ ПОЛЬЗОВАНИИ

Таллинский Политехнический Институт

Редактор Л. К. Юргенсон

Технический редактор и корректор Я. Мыттус

Сдано в набор 15 XII 1960. Подписано к печати 16 I 1961. Бумага 54×84 1/16. Печатных листов, 0,75. По формату 60×92 печатных листов 0,62. Учетно-издательских листов 0,92. Тираж 600 экз.
МВ-00412. Заказ № 8945.

Типография «Коммунист», Таллин, ул. Пикк 2.

Цена 7 коп.

Цена 7 коп.