



УДК 697.7

**М. В. БОДРОВ**, д-р техн. наук, зав. кафедрой отопления и вентиляции,  
**А. Е. РУИН**, ассистент кафедры отопления и вентиляции, **А. Ф. ЮЛАНОВА**,  
ассистент кафедры отопления и вентиляции

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-85;  
эл. почта: tes84@mail.ru

*Ключевые слова:* теплоустойчивость, строительная теплофизика, животноводческое здание, повышение продуктивности производства.

---

*Приведена последовательность расчета теплоустойчивости животноводческих зданий, позволяющая определять с теплофизической точки зрения конструктивный состав полов коровников и свиноводческих комплексов.*

---

В настоящее время в нашей стране в условиях импортозамещения проблема продовольственной безопасности является весьма актуальной и одной из основополагающих. К инженерным задачам относится создание оптимальных микроклиматических параметров в помещениях содержания крупного рогатого скота (КРС) и свиноводческих комплексов.

Под теплоустойчивостью помещений в теории строительной теплофизики понимают их свойство поддерживать относительное постоянство температур при периодически изменяющихся. В животноводческих и свиноводческих помещениях тепловой режим, соответствующий максимальной продуктивности животных, можно рассчитывать, как для гражданских и промышленных зданий по приводимым в нормативной и специальной литературе зависимостям, например [1, 2, 3]. Этот вывод базируется на постоянстве (стационарности в течение суток) динамики поступлений теплоты в помещения, а трансмиссионные теплопотери зависят только от изменения температуры наружного воздуха. Ниже приведена последовательность расчета теплоустойчивости животноводческих зданий.

Соотношение между колебаниями теплового потока  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>, и температуры на поверхности ограждения  $\tau_b$ , °С, определяется коэффициентом теплоустойчивости  $Y$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Зависимость теплового потока от температуры воздуха выражается коэффициентом теплопоглощения ограждения, определяемым по зависимости:

$$B = A_q / A_{\tau_b} . \quad (1)$$

Затухание амплитуды температуры воздуха  $A_{\tau_b}$  при переходе тепловой волны от помещения к внутренней поверхности ограждения, на которой амплитуда колебания равна  $A_{\tau_a}$ , можно рассчитать по формуле:



$$A_{t_b} / A_{\tau_b} = 1 + Y_1 / \alpha_B, \quad (2)$$

где  $Y_1$  – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения;  $Y_1 = A_q / A_{\tau_b}$  (индекс у коэффициента показывает порядок отсчета слоев в ограждении по направлению движения теплового потока  $q$ ).

Коэффициент теплопоглощения  $B$  показывает колебания амплитуды теплового потока  $A_q$ , проходящего через поверхность ограждения, к вызывающей этот поток амплитуде колебания температуры окружающего воздуха  $A_{t_b}$ . Значение коэффициента теплопоглощения  $B$  можно записать в виде следующей зависимости:

$$B = A_q / A_{t_b} = \frac{Y_1}{(1 + Y_1 / \alpha_B)} = \frac{1}{(1/Y_1 + 1/\alpha_B)}. \quad (3)$$

Амплитуда изменения теплового потока  $A_q$ , поглощаемого поверхностью при колебаниях температуры среды  $A_{t_b}$ , равна:

$$A_q = B \cdot A_{t_b}. \quad (4)$$

Если ограждение имеет площадь  $F$ , м<sup>2</sup>, то амплитуда  $A_Q$  изменения всего количества теплоты, поглощаемого этой поверхностью, равна:

$$A_Q = B \cdot F \cdot A_{t_b}. \quad (5)$$

Так как в животноводческих и свиноводческих помещениях амплитуда колебаний температуры воздуха для всех ограждающих поверхностей практически одинакова, а в каждый момент между количеством теплоты, подаваемой в помещение и поглощаемой его поверхностями, существует равенство, то амплитуда теплоступлений  $A_Q$  равна амплитуде теплопоглощений всеми поверхностями:

$$A_Q = \sum B \cdot F \cdot A_{t_b}. \quad (6)$$

Следовательно, основное уравнение теплоустойчивости имеет вид:

$$A_{t_b} = A_Q / P, \quad (7)$$

где  $P$  – показатель теплопоглощения помещения, равный суммарной теплопоглощающей способности всех поверхностей в помещении:

$$P = \sum Y \cdot F. \quad (8)$$



Приведенные зависимости позволяют с достаточной точностью провести расчет колебаний температуры воздуха в животноводческих и свиноводческих помещениях.

Теплопотери через полы в энергетическом балансе животноводческих зданий не превышают 3–5 %. Однако необходимо учитывать особые подходы к характеристикам теплоусвоения полов, т. к. отдых и сон крупного рогатого скота и свиней при напольном содержании проходит непосредственно на полу, что повышает возможность простудных заболеваний и предопределяет их продуктивность и жизнеспособность. Особо жесткие требования предъявляются к тепловому режиму полов в помещениях молодняка животных (телят, поросят и др.).

Верхний слой пола в местах отдыха животных при содержании их без подстилки определяется показателем теплоусвоения поверхности пола  $Y_{\Pi}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), который должен быть не более нормируемой величины  $Y_f^{TP}$ . Однако в нормативной литературе до настоящего времени отсутствуют однозначные значения по величине  $Y_f^{TP}$  (сравнительный анализ представлен авторами в табл. 1).

Таблица 1

**Нормируемые значения показателя теплоусвоения поверхности пола**

Вид содержащихся животных	$Y_f^{TP}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	Вид содержащихся животных	$Y_f^{TP}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
СП 23-01-2000		СНиП 23-02-2003	
- КРС молочного направления, молодняк КРС и свиней до четырехмесячного возраста	12,5	- коровы и нетели за 2–3 месяца до отела, быки-производители, поросята-откормыши, свињи-матки, хряки	11,0
- откормочных свиней с четырехмесячного возраста	17,0	- коровы стельные и новотельные, молодняк свиней, свињи на откорме	13,0
- откормочного КРС с четырехмесячного возраста	15,0	- крупный рогатый скот на откорме	14,0

Показатель теплоусвоения решетчатых полов и полов помещений для содержания животных на подстилке, а также овец не нормируется.

Показатель теплоусвоения поверхности полов  $Y_{\Pi}$  определяется в следующей последовательности.

Если покрытие пола (первый слой конструкции пола) имеет тепловую инерцию  $D_1 = R_1 s_1 \geq 0,5$ , то показатель теплоусвоения поверхности пола определяется по формуле:



$$Y_{\text{п}} = 2s_1, \quad (9)$$

где  $s$  – расчетный коэффициент теплоусвоения материала рассматриваемого слоя ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимается по [3].

Если первые  $n$  слоев конструкции пола имеют суммарную тепловую инерцию  $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5$ , но тепловая инерция  $(n+1)$ -го слоев  $D_1 + D_2 + \dots + D_{n+1} \geq 0,5$ , то показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_{\text{п}}$  следует определять последовательно расчетом показателей теплоусвоения поверхностей слоев конструкций, начиная с  $n$ -го до 1-го:

$$\text{для } n\text{-го слоя} \quad Y_{\text{п}} = \frac{2R_n s_n^2 + s_{n+1}}{0,5 + R_n s_{n+1}}; \quad (10)$$

$$\text{для } i\text{-го слоя } (i = n - 1; n - 1; \dots 1) \quad Y_i = \frac{4R_i s_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i Y_{i+1}}. \quad (11)$$

Показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_{\text{п}}$  принимается равным показателю теплоусвоения поверхности 1-го слоя  $Y_1$ . В формулах (10,11):  $D$  – тепловая инерция слоев конструкции пола:  $D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n$ ;  $Y_{i+1}$  – показатель теплоусвоения поверхности  $(i+1)$ -го слоя конструкции пола. Расчетные коэффициенты теплопроводности и теплоусвоения материалов слоев конструкции пола в местах отдыха животных следует принимать при эксплуатационной влажности этих материалов, но не выше, чем при условиях эксплуатации «Б» [6].

В качестве *заключения* по проведенным исследованиям авторами приводится пример инженерного расчета теплоустойчивости пола животноводческого помещения.

Требуется выполнить теплотехнический расчет пола для помещения отдыха КРС и определить, удовлетворяет ли в отношении требований теплоусвоения конструкция пола животноводческого помещения при содержании животных без подстилки. Теплотехнические характеристики отдельных слоев конструкции пола даны в табл. 2.

Тепловая инерция рассматриваемых слоев:

$$\text{– 1-й слой (асфальтобетон)} \quad D_1 = R_1 s_1 = 0,048 \cdot 16,43 = 0,789;$$

$$\text{– 2-й слой (песок)} \quad D_2 = R_2 s_2 = 0,345 \cdot 7,91 = 2,729.$$

Так как тепловая инерция первого слоя конструкции пола  $D_1 > 0,5$ , то показатель теплоусвоения поверхности пола определится по (9).  $Y_{\text{п}} = 2s_1 = 2 \cdot 16,43 = 32,86$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Значение  $Y_{\text{п}}$  явно не удовлетворяет нормируемым величинам теплоусвоения поверхности пола [4, 5].



Таблица 2

**Физические и теплотехнические характеристики отдельных слоев  
конструкции пола**

Материал	Толщина слоя, $\delta$ , м	Плотность материала в сухом состоянии $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент при условии эксплуатации «Б»		Сопротив- ление тепло- передаче $R$ , м <sup>2</sup> °С/Вт
			$\lambda$ , Вт/(м <sup>о</sup> ·С)	$s$ , Вт/(м <sup>2</sup> °С)	
Асфальто- бетон	0,05	2100	1,05	16,43	0,048
Песок для строитель- ных работ	0,20	1600	0,58	7,91	0,345
Доски сосновые	0,03	500	0,18	4,54	0,167

Тепловая инерция рассматриваемых слоев:

– 1-й слой (асфальтобетон)  $D_1 = R_1 s_1 = 0,048 \cdot 16,43 = 0,789$ ;

– 2-й слой (песок)  $D_2 = R_2 s_2 = 0,345 \cdot 7,91 = 2,729$ .

Так как тепловая инерция первого слоя конструкции пола  $D_1 > 0,5$ , то показатель теплоусвоения поверхности пола определится по (9).  $Y_n = 2s_1 = 2 \cdot 16,43 = 32,86$  Вт/(м<sup>2</sup>°С). Значение  $Y_n$  явно не удовлетворяет нормируемым величинам теплоусвоения поверхности пола [4, 5].

Для улучшения теплофизических показателей полов в качестве первого (верхнего) слоя принят пол из сосновых досок. Так как первый слой покрытия пола и в этом случае имеет  $D_1 > 0,5$ , то величина  $Y_n$  также определяется по (2.41):  $Y_n = 2s_1 = 2 \cdot 4,54 = 9,08$  Вт/(м<sup>2</sup>°С). Такая конструкция пола из деревянного настила удовлетворяет нормируемым показателям теплоусвоения всех возрастных категорий крупного рогатого скота и свиней.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. – Москва : Высшая школа, 1982. – 416 с. – Текст : непосредственный.
2. Кувшинов, Ю. Я. Развитие теории теплоустойчивости / Ю. Я. Кувшинов. – Текст : непосредственный // Сборник трудов II съезда АВОК. – 1992. – Том 1. – С. 35–43.
3. СНиП II-3-79\*. Строительная теплотехника : строительные нормы и правила : издание официальное : утвержден Постановлением Госстроя СССР от 14.03.1979 № 28 : [редакция от 19.01.1998] : актуализированная редакция СНиП 23002-2003 [фактически утратил силу в связи введением в действие с 1 июля 2013 г. СП 50. 13330.2012 : актуализированная редакция СНиП 23002-2003. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.
4. СП 23-101-2000. Проектирование тепловой защиты зданий : свод правил : издание официальное : одобрен Постановлением Госстроя России от 22.12.2000 № 134 : дата введения 01 июля 2001 г. : [утратил силу с 1 июня 2004 г.] : актуализированная редакция СП 23-101-2004. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.



5. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий : свод правил : утвержден и введен в действие Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 265 : дата введения 01 июля 2013 г. : [редакция от 15.12.2021]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий : свод правил : актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 : утвержден и введен в действие Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 265 : дата введения 01 июля 2013 г. : [редакция от 15.12.2021]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

7. Бодров, М. В. Теплофизическое обоснование применения глубокой подстилки в животноводческих зданиях / М. В. Бодров, А. В. Лопаткин. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2013. – № 2. – С. 36–40.

**BODROV Mihail Valer'evich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heating and ventilation; RUIN Alexey Evgen'evich, master student of the chair of heating and ventilation; YULANOVA Alina Fanil'evna, master student of the chair of heating and ventilation**

### ENSURING THERMAL STABILITY LIVESTOCK PREMISES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, P'inskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-85;  
e-mail: tes84@mail.ru

*Key words:* heat resistance, construction thermophysics, livestock building, increase in production productivity.

---

*The sequence of calculation of heat resistance of livestock buildings is given, which allows determining the structural composition of the floors of cowsheds and pigsties from a thermophysical point of view.*

---

### REFERENCES

1. Bogoslovskiy V. N. Stroitel'naya teplofizika [Construction thermophysics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1982, 416 p.

2. Kuvshinov Yu. Ya. Razvitie teorii teploustoychivosti [Development of the theory of thermal stability]. Sb. trudov II sezda AVOK, 1992. Vol. 1. P. 35-43.

3. SNiP II-3-79\*. Stroitel'naya teplotekhnika [Construction heat engineering] : stroitelnye normy i pravila : utv. Postanovleniem Gosstroya SSSR ot 14.03.1979 N 28 : red. ot 19.01.1998 : aktualizirovannaya red. SNiP 23002-2003 [fakticheski utratil silu v svyazi s vved. v deystvie s 1 iyulya 2013 g. SP 50. 13330.2012]. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).

4. SP 23-101-2000. Proektirovanie teplovoy zashchity zdaniy [Design of thermal protection of buildings] : svod pravil : odobren Postanovleniem Gosstroya Rossii ot 22.12.2000 N 134 : data vved. 01 iyulya 2001 g. : [utratil silu s 1 iyunya 2004 g.] : aktualizirovannaya red. SP 23-101-2004. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).

5. SNiP 23-02-2003. Teplovaya zashchita zdaniy [Thermal protection of buildings] : svod pravil : utv. i vved v deystvie Prikazom Minregiona Rossii ot 30.06.2012 N 265 : data vved. 01 iyulya 2013 g. : red. ot 15.12.2021. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).



6. SP 50.13330.2012. Teplovaya zaschita zdaniy [Thermal protection of buildings] svod pravil : aktualizirovannaya red. SNiP 23-02-2003 : utv. i vved v deystvie Prikazom Minregiona Rossii ot 30.06.2012 N 265 : data vved. 01 iyulya 2013 g. : red. ot 15.12.2021. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).

7. Bodrov M. V., Lopatkin A. V. Teplofizicheskoe obosnovanie primeneniya glubokoy podstilki v zhivotnovodcheskikh zdaniyakh [Thermophysical justification of the use of deep litter in livestock buildings]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2013. № 2. P. 36-40.

© М. В. Бодров, А. Е. Руин, А. Ф. Юланова, 2023

Получено: 03.07.2023 г.