

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.06.9>

Чиркова Е.В.

Кандидат технических наук,
Тольяттинский государственный университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НЕОТАПЛИВАЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С ПОЗИЦИИ ИХ ВЛАГОПРОВОДНОСТИ

Аннотация

Рассмотрены особенности динамики формирования параметров микроклимата в производственных сельскохозяйственных зданиях. Обоснована возможность круглогодичной эксплуатации зданий данного класса как неотапливаемых. Приведена сравнительная характеристика влагопроводных свойств железобетона и дерева. Показана необходимость на стадии проектирования неотапливаемых сельскохозяйственных зданий с теплофизической точки зрения рассчитывать и подбирать конструкции наружных ограждений с учетом рассеивания влаги.

Ключевые слова: коэффициент влагопроводности, потенциал влажности, сопротивление влагопередаче.

Chirkova E.V.

PhD in Engineering,
Togliatti state University

COMPARATIVE ANALYSIS OF BUILDING ENVELOPES OF UNHEATED INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL BUILDINGS FROM THE POINT OF VIEW OF THEIR WATERPROOFING

Abstract

The article deals with the features of microclimate parameters dynamics in the formation of industrial and agricultural buildings. The possibility of year-round operation of these unheated buildings is grounded. Comparative characteristics of moisture-conducting properties of reinforced concrete and wood are given. The paper shows the necessity to calculate and select the designs of external fences at the stage of designing unheated agricultural buildings from the thermo-physical point of view with regard to the dispersion of moisture.

Keywords: moisture conductivity coefficient, moisture potential, resistance to moisture transfer.

Качество хранящейся сельскохозяйственной продукции, продуктивность животных и птиц напрямую зависит от поддерживаемых в помещениях параметров микроклимата. В нормах технологического проектирования приведены требуемые величины температур и относительных влажностей внутреннего воздуха в сельскохозяйственных зданиях различного функционального назначения. Только при выполнении данных требований можно рассчитывать на высокие показатели сельскохозяйственного производства.

Однако, для поддержания требуемых параметров внутренней среды в животноводческих, птицеводческих помещениях, а также в помещениях для хранения сочного растительного сырья, необходима устойчивая работа систем обеспечения микроклимата. А это, в свою очередь, требует определенных капитальных затрат. В результате, большинство сельскохозяйственных зданий эксплуатируются как неотапливаемые, запроектированные системы механической вентиляции в целях экономии, как правило, не включаются.

Согласно исследованиям профессора В.И. Бодрова [1, С. 55] производственные сельскохозяйственные здания можно эксплуатировать как неотапливаемые. По нормированию теплофизических характеристик теплового контура они выделены в специальный класс. Особенностью формирования в них температурно-влажностных параметров микроклимата является как наличие постоянных круглогодичных явных тепловыделений теплоты, так и постоянных биологических и физиологических выделений влаги от животных, птиц, хранящейся продукции. До определенной «критической» температуры наружного воздуха за счет указанных тепловыделений в помещениях сельскохозяйственных зданий поддерживается требуемая температура внутреннего воздуха. Однако при дальнейшем понижении температуры наружного воздуха в помещениях наблюдается дефицит теплоты, подача наружного воздуха практически прекращается. В частности для коровников, в холодный период года допускается снижение удельных воздухообменов до $2,5...3,0 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{ц})$ и даже ниже [2]. В помещении начинает скапливаться влага, относительная влажность воздуха повышается практически до $\varphi_{\text{в}} = 95...100 \%$, выпадает туман, происходит интенсивная конденсация водяных паров на внутренних поверхностях ограждений, увлажнение последних и образование наледи на окнах.

Для решения данной проблемы с наименьшими материальными затратами предлагается выполнять ограждающие конструкции сельскохозяйственных зданий из влагопроводных строительных материалов. Это позволит удалять избыточную влагу из помещений в отсутствие работы систем вентиляции через наружные ограждения.

Далее предлагается на примере оценить степень влагопроводности различных строительных материалов. Наиболее наглядными для рассмотрения являются такие материалы, как железобетон и дерево. Поскольку расчет влажностного режима наружных ограждений является вторичным, а в качестве основного выступает теплотехнический расчет, т.е. необходимо обязательно выполнять требования по тепловой защите зданий, следовательно, толщина стен из данных материалов принимается соответствующей теплотехническим требованиям.

Для условий Самарской области требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен зданий коровников для содержания 200 коров равно $0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (расчет произведен по методике профессора В.И. Бодрова [1, С. 62] с учетом тепловыделений от животных). В данном случае толщина ограждений, позволяющая выполнить требования по теплозащите, равна 1,4 и 0,25 м для железобетона и дерева соответственно. При этом величина коэффициента теплопроводности материалов в расчете принимается по графе градации Б*, как это рекомендовалось в СНиП [3], поскольку для сельскохозяйственных зданий характерно наличие постоянных влаговывделений от животных, птиц, хранящегося сочного растительного сырья, а, соответственно, большие значения относительной влажности воздуха.

Количество влаги, проходящей сквозь ограждение $G_{\text{вл}}^{\text{опр}}$, кг/ч, определяется по формуле [4]:

$$G_{\text{вл}}^{\text{опр}} = \frac{(\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{н}})F}{R_{\Theta,0}}, \quad (1)$$

где $\Theta_{\text{н}}$ – потенциал влажности внутреннего воздуха, °В;

$\Theta_{\text{в}}$ – потенциал влажности наружного воздуха, °В;

F – площадь наружных стен, м²;

$R_{\Theta,0}$ – приведенное сопротивление влагопередаче ограждающей конструкции, м²·ч·°В/кг.

Потенциалы влажности внутреннего $\Theta_{\text{в}}$ и наружного $\Theta_{\text{н}}$ воздуха определяются в зависимости температуры и относительной влажности воздуха [5]:

$$\text{при } t \leq 10 \text{ °C не зависимо от } \varphi \quad \lg \Theta = 0,057d + 0,829; \quad (2)$$

$$\text{при } t > 10 \text{ °C и } \varphi \geq 80\% \quad \lg \Theta = 0,12d - 0,049t + 1,056; \quad (3)$$

$$\text{при } t > 10 \text{ °C и } \varphi < 80\% \quad \lg \Theta = 0,096d + 0,082 \quad (20 < d \leq 30); \quad (4)$$

$$\lg \Theta = 0,057d + 0,829 \quad (0 < d \leq 20) \quad (5)$$

где d – влагосодержание воздуха, г/кг сух. в-ха.

Влагосодержание определяется исходя из зависимости:

$$\varphi = k_t \cdot d, \quad (6)$$

где k_t – угловой коэффициент, который при различных значениях температуры может быть определен по формуле:

$$k_t = 24,39e^{-0,062t}. \quad (7)$$

Приведенное сопротивление влагопередаче наружного ограждения $R_{\Theta,0}$, м²·ч·°В/кг, рассчитывается по формуле [6, 7, 8]:

$$R_{\Theta,0} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\chi_i}, \quad (8)$$

где δ – толщина слоя ограждения, м;

χ – коэффициент влагопроводности материала слоя, кг/(м·ч·°В), определяемый по зависимости [9, 10]:

$$\chi = \frac{(e_{\text{в}} - e_{\text{н}})}{(\Theta_{\text{в}} - \Theta_{\text{н}})} \mu, \quad (9)$$

где $e_{\text{в}}$ – упругость водяного пара внутреннего воздуха, Па;

$e_{\text{н}}$ – упругость водяного пара наружного воздуха, Па;

μ – коэффициент паропроницаемости материала, кг/(м·ч·Па).

Принимая за расчетные следующие величины: температура и относительная влажность внутреннего воздуха – $t_{\text{в}} = 10 \text{ °C}$, $\varphi_{\text{в}} = 60 \%$; наружного – $t_{\text{н}} = -30 \text{ °C}$, $\varphi_{\text{н}} = 84 \%$; площадь стен коровника без учета площади окон и ворот – $F_{\text{ст}} = 352 \text{ м}^2$ и пользуясь формулами (1...9), получим численные значения расхода влаги сквозь железобетонное и деревянное ограждения, представленные для удобства сравнения в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика влагопроводных свойств дерева и железобетона

| Величина | Железобетон | Дерево |
|---|----------------------|----------------------|
| Расход влаги $G_{вл}^{отр}$, кг/ч | 0,0039 | 0,233 |
| Приведенное сопротивление влагопередаче $R_{\theta, 0}$, м ² ·ч·°В/кг | $460,5 \cdot 10^3$ | $7,7 \cdot 10^3$ |
| Коэффициент влагопроводности χ , кг/(м·ч·°В) | $3,04 \cdot 10^{-6}$ | $32,4 \cdot 10^{-6}$ |

Из таблицы 1 видно, что приведенное сопротивление влагопередаче $R_{\theta, 0}$, оценивающее влагопроводные свойства ограждений, в случае выполнения стен из железобетона почти в 60 раз превышает сопротивление влагопередаче деревянных стен. Соответственно, и количество влаги $G_{вл}^{отр}$, способное удалиться через деревянные ограждения, в 60 раз больше в равнении со стенами из железобетона.

Следовательно, применение дерева в качестве строительного материала наиболее предпочтительно, поскольку позволяет избежать таких неприятных явлений, как туман и сопутствующих ему обледенения окон и ворот.

Данное обстоятельство также подтверждается натурными исследованиями, проведенными в двух одинаковых коровниках для содержания 200 коров молочного направления в селе Васильевка Самарской области [11]. Рассматриваемые здания одноэтажные, прямоугольной в плане формы, бесчердачные. Различие заключалось в материале покрытия. В первом коровнике оно было выполнено из железобетонных плит, во втором – из досок. Наблюдения показали, что начиная с температуры наружного воздуха $t_n \leq -14$ °С, в коровнике с бетонными стенами и покрытием выпадал густой туман, в коровнике с бетонными стенами и деревянным покрытием тумана либо не было вообще, либо он был не такой густой.

Таким образом, на стадии проектирования неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданий необходимо с теплофизической точки зрения рассчитывать и подбирать конструкции наружных ограждений с учетом рассеивания сквозь них влаги.

С экономической точки зрения применение влагопроводных ограждающих конструкций неотапливаемых сельскохозяйственных зданий позволяет существенно снизить материальные затраты на сооружение систем кондиционирования микроклимата, а также сократить эксплуатационные затраты и повысить количественные показатели сельскохозяйственного производства.

Литература

1. Бодров, В.И. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений / В.И. Бодров, М.В. Бодров, Е.Г. Ионычев, М.Н. Кучеренко. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2008. – 623с.
2. Раяк, М.Б. Естественная вентиляция коровников с электронагревом воздуха / М.Б. Раяк, В.А. Шмидт, В.И. Родин // Животноводство. – 1982. – № 6. – С. 52-53.
3. СНиП II-A.7-71 Строительная теплотехника. Нормы проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200043247> (дата обращения 29.04.2017)
4. Чиркова, Е. В. Обеспеченность теплофизических характеристик наружных ограждений неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданий : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 : защищена 23.12.15 : утв. 08.06.16 / Чиркова Елена Владимировна. – Тольятти, 2015. – 219 с.
5. Кучеренко, М.Н. Термодинамическое обоснование графоаналитического решения задачи влагопереноса в слое биологически активной продукции : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 : защищена 27.05.2005 : утв. 18.10.2005 / Мария Николаевна Кучеренко. – Н. Новгород., 2005. – 134 с.
6. Кучеренко, М.Н. Применение теории потенциала влажности для расчета переноса влаги через наружные ограждения / М.Н. Кучеренко, Е.В. Чиркова // Известия вузов. Строительство. – 2013 – № 5. – С. 63-67.
7. Чиркова, Е.В. Прогнозирование динамики влажностного режима наружных ограждений неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданий / Е.В. Чиркова // Актуальные проблемы развития науки и образования : Сб. науч. трудов Международ. науч.-практич. конф. 5 мая 2014 г. : в 7 ч. Ч. VI. – М.: «АР-Консалт», 2014. – С. 151-153.
8. Чиркова, Е.В. Проектирование теплового контура неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданий / Е.В. Чиркова // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 2. – С. 75-80.
9. Чиркова, Е.В. Термодинамическое обоснование определения коэффициента влагопроводности строительных материалов / М.Н. Кучеренко, Е.В. Чиркова // Приволжский науч. журн. – 2010. – № 4. – С. 129-135.
10. Бодров, В.И. Теплофизические характеристики теплового контура производственных сельскохозяйственных зданий / В.И. Бодров, М.Н. Кучеренко, Е.В. Чиркова // Приволжский науч. журн. – 2014. – № 3. – С. 59-66.
11. Кучеренко, М.Н. Экспериментальное исследование тепловлажностных характеристик внутренних поверхностей ограждающих конструкций сельскохозяйственных зданий / М.Н. Кучеренко, Е.В. Чиркова // Вестник ВСГУТУ. – 2013. – № 2. – С. 45-50.

References

1. Bodrov V.I. Mikroklimat proizvodstvennykh selskokhoziaystvennykh zdaniy i sooruzheniy [Microclimate of Industrial Agricultural Buildings and Structures] / V.I. Bodrov, M.V. Bodrov, E.G. Ionechev, M.N. Kucherenko. - N. Novgorod, 2008. – 623 p. [In Russian]
 2. Rayak M.B. Estestvennaya ventilyatsiya korovnikov s elektronagrevom vozdukhа [Natural Ventilation of Barns with Electric Heating of Air] / M.B. Rayak, V.A. Schmidt, V.I. Rodin // Cattle Breeding. - 1982. - No.6. - P. 52-53. [In Russian]
 3. SNiP II-A.7-71 Stroitel'naya teplotekhnika. Normy proektirovaniya [SNiP II-A.7-71 Building Heat Engineering. Design Standards] [Electronic resource]. - Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200043247> (circulation date April 29, 2017) [In Russian]
 4. Chirkova E.V. Obespechennost' teplofizicheskikh kharakteristik naruzhnykh ograzhdeniy neotaplivaemykh proizvodstvennykh selskokhoziaystvennykh zdaniy [Provision of Thermophysical Characteristics of External Fences of Unheated Industrial Agricultural Buildings]: thesis of Cand. Tech. Sciences: 05.23.03: defended 23.12.15: approved 08.06.16 / Chirkova Elena Vladimirovna. - Togliatti, 2015. - 219 p. [In Russian]
 5. Kucherenko M.N. Termoobosnovaniye grafoanaliticheskogo resheniya zadachi vlagoperenosa v sloye biologicheskii aktivnoy produktii [Thermodynamic Justification of Graphic and Analytical Solution of the Problem of Moisture Transfer in the Layer of Biologically Active Products]: thesis of Cand. Tech. Sciences: 05.23.03: defended 27.05.2005: approved 10/18/2005 / Maria Nikolaevna Kucherenko. - N. Novgorod., 2005. - 134 p. [In Russian]
 6. Kucherenko M.N. Primeneniye teorii potentsiala vlazhnosti dlia rascheta perenosa vlagi cherez naruzhniye ograzhdeniya [Application of the Theory of Moisture Potential for Calculation of Moisture Transfer through External Fences] / M.N. Kucherenko, E.V. Chirkova // Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo. - 2013 - No. 5. - P. 63-67. [In Russian]
 7. Chirkova E.V. Prognozirovaniye dinamiki vlazhnostnogo rezhima naruzhnykh ograzhdeniy neotaplivaemykh proizvodstvennykh selskokhoziaystvennykh zdaniy [Forecasting of Dynamics of Moisture Mode of External Fences of Unheated Industrial Agricultural Buildings] / E.V. Chirkova // Aktualnyye problem razvitiya nauki i obrazovaniya: Sb. nauch. Trudov Mezhdunarodnoy nauch-prakt. konf. 5 maya 2014 g. [Topical Problems of Science and Education Development: Collection of Sci. Works of the International. Scientific Conf. May 5, 2014]: at 7 pm Part VI. - M.: "AR-Consult," 2014. - P. 151-153. [In Russian]
 8. Chirkova E.V. Proektirovaniye teplovogo kontura neotaplivaemykh proizvodstvennykh selskokhoziaystvennykh zdaniy [Design of the Heating Circuit for Unheated Industrial Agricultural Buildings] / E.V. Chirkova // Vesnik NGIEI [Herald of the NGIEI]. - 2015. - No.2. - P. 75-80. [In Russian]
 9. Chirkova E.V. Termodinamicheskoye obosnovaniye opredeleniya koeffitsienta vlagoprovodnosti stroitelnykh materialov [Thermodynamic Justification of Moisture Conductivity Definition of Building Materials] / M.N. Kucherenko, E.V. Chirkova // Privolzhsk nauch. zhurn [Privolzhsky Scientific Journal.] - 2010. - No. 4. - P. 129-135. [In Russian]
 10. Bodrov V.I. Teplofizicheskiye kharakteristiki teplovogo kontura proizvodstvennykh selskokhoziaystvennykh zdaniy [Thermal and physical Characteristics of Thermal Circuit of Industrial and Agricultural Buildings] / V.I. Bodrov, M.N. Kucherenko, E.V. Chirkova // Privolzhsk nauch. zhurn. [Privolzhsky Scientific Journal.] - 2014. - No. 3. - P. 59-66. [In Russian]
 11. Kucherenko M.N. Eksperimentalnoye issledovaniye teplovlazhnostnykh kharakteristik vnutrennykh poverkhnostey ograzhdayushchikh konstruksiy selskokhoziaystvennykh zdaniy [Experimental Study of Heat and Moisture Characteristics of Internal Surfaces of Building Envelopes of Agricultural Buildings] / M.N. Kucherenko, E.V. Chirkova // Vesnik VSTGUTU [Herald of the VSGUTU]. - 2013. - No.2. - P. 45-50. [In Russian]
-