

УДК 628.8: 631.2

М.В. Бодров – кандидат технических наук, ассистент

E-mail: tes84@inbox.ru

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

АННОТАЦИЯ

Разработана методика расчета теплоустойчивости животноводческих зданий и овощекартофелехранилищ, для которых характерна цикличность поступления теплоты в течение суток. При нормировании теплотехнических характеристик наружных ограждений за расчетный должен приниматься цикл естественной вентиляции, в котором складываются наиболее неблагоприятные температурные условия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коэффициенты теплоусвоения и теплоустойчивости ограждения и помещения, циклы работы систем активной и естественной вентиляции.

M.V. Bodrov – candidate of technical sciences, assistant

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Engineering

THERMAL STABILITY OF THE PRODUCTION AGRICULTURAL BUILDINGS

ABSTRACT

Is developed the procedure of calculation of the thermal stability of cattle-breeding buildings, vegetable storages and the potato storehouses, for which the cyclic recurrence of the entering of heat in the course of twenty-four hours is characteristic. During rate setting of the thermo-technical characteristics of external enclosures for the calculated must start the cycle of natural ventilation, in which are added the most unfavorable temperature conditions.

KEYWORDS: the coefficients of heat-mastering and thermal stability of enclosure and accommodation, the cycles of the work of the systems of the active and natural ventilation.

Введение. Под теплоустойчивостью помещений понимают их свойство поддерживать относительное постоянство температур при периодически изменяющихся теплопоступлениях. В животноводческих помещениях температурный режим, соответствующий максимальной продуктивности животных, можно рассчитывать как для гражданских и промышленных зданий по приводимым в нормативной и специальной литературе зависимостям [1, 2]. Этот вывод базируется на постоянстве (стационарности в течение суток) поступления теплоты в помещения, сток теплоты в них зависит только от изменения температуры наружного воздуха. Тепловой режим хранилищ картофеля и овощей отличается цикличностью (в соответствии с режимами работы систем активной вентиляции) поступления теплоты в свободный объем помещения в течение суток. В статье рассмотрены особенности расчета теплоустойчивости помещений для содержания животных и разработана методика расчета теплоустойчивости помещений овощекартофелехранилищ.

Теплоустойчивость животноводческих и птицеводческих помещений. Укажем основные особенности и последовательность расчета теплоустойчивости животноводческих помещений. Соотношение между колебаниями теплового потока и температуры на поверхности ограждения определяется коэффициентом теплоустойчивости Y . Зависимость теплового потока от температуры воздуха выражается коэффициентом теплопоглощения ограждения $B = A_q / A_{t_b}$. Затухание амплитуды температуры воздуха A_{t_b} при переходе тепловой волны от помещения к внутренней поверхности ограждения, на которой амплитуда колебания равна A_{Φ_b} , рассчитывается по формуле:

$$A_{t_b} / A_{\Phi_b} = 1 + Y_1 / \bar{b}_B, \quad (1)$$

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

Коэффициент теплопоглощения ограждения B показывает колебания амплитуды теплового потока, проходящего через поверхность ограждения, к вызывающей этот поток амплитуде колебания температуры окружающего воздуха. Значение коэффициента теплопоглощения B , Вт / (м²°С), равно:

$$B = A_q / A_{t_b} = Y_1 / (1 + Y_1 / \sigma_b) = 1 / (1/Y_1 + 1/\sigma_b). \quad (2)$$

Амплитуда изменения теплового потока A_q , поглощаемого поверхностью при колебаниях температуры среды A_{t_b} , составляет $A_q = BA_{t_b}$. Если ограждение имеет площадь F , то амплитуда A_Q изменения всего количества теплоты, поглощаемого этой поверхностью, составляет $A_Q = BFA_{t_b}$. Так как в животноводческих помещениях амплитуда колебаний температуры воздуха для всех ограждающих поверхностей одинакова, а в каждый момент между количеством теплоты, подаваемой в помещение и поглощаемой его поверхностями, существует равенство – амплитуда теплопоступлений A_Q равна амплитуде теплопоглощений всеми поверхностями:

$$A_Q = \sum BFA_{t_b}. \quad (3)$$

Из (3) имеем основное уравнение теплоустойчивости:

$$A_{t_b} = A_Q / P. \quad (4)$$

В (4) $P = \sum YF$ – показатель теплопоглощения помещения, равный суммарной теплопоглощающей способности всех поверхностей в помещении. Приведенные зависимости позволяют с достаточной точностью провести расчет колебаний температуры воздуха в животноводческих помещениях.

Теплоустойчивость овощекартофелехранилищ. Проведенные исследования [3, 4] позволяют сделать вывод о большой тепловой инерционности как насыпей сочного растительного сырья (СРС), так и хранилищ в целом. Выполненные теплофизические расчеты по определению теплоустойчивости наружных ограждений типовых хранилищ дают значения показателя затухания температурных колебаний для бесчердачных покрытий $n \approx 700$ и для наружных стен $v \approx 400$, показателя запаздывания сквозного проникновения температур соответственно $\varepsilon \approx 23$ ч и 26 ч. Поэтому суточные колебания температуры наружного воздуха не оказывают практического влияния на температуру их внутренних поверхностей. Подтверждением этого положения являются полученные нами термограммы и гигрограммы параметров воздуха в зимний период года (рис. 1) в полузаглубленном картофелехранилище. На термограмме отчетливо наблюдаются моменты включения и продолжительность работы систем активной вентиляции по характерному снижению температуры. Параметры относительной влажности воздуха в хранилище j_B^x более стабильны.

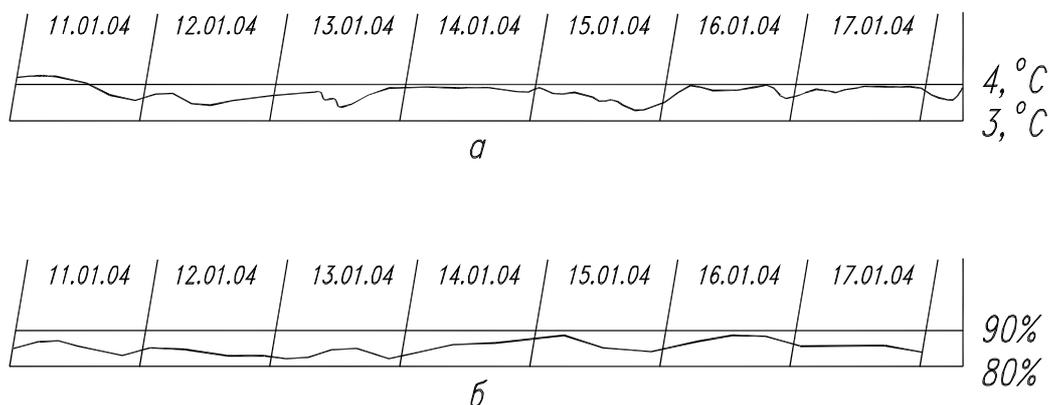


Рис. 1. Изменение параметров воздуха над насыпью клубней: а – термограмма; б – гигрограмма

Выявим периоды наиболее неблагоприятных температурных условий в свободном объеме хранилища V_c , создающихся при циклической работе систем активной вентиляции (САВ). Такие исследования необходимы для уточнения минимальной мощности систем отопления, а также для

обоснования выбора объективных исходных данных при нормировании и расчете теплотехнических характеристик наружных ограждений хранилищ.

Количество теплоты, поступающей в верхнюю зону хранилища, меняется во времени. Во время цикла естественной конвекции (ЕК), когда САВ не работают, максимальное количество поступающей теплоты равно:

$$Q_{ЕК}^{max} = Q_0 \psi_k. \quad (5)$$

Коэффициент ψ_k показывает отношение удаляемой естественной конвекцией теплоты из насыпи картофеля или овощей к теплоте дыхания продукции. Он принимается по полученной нами экспериментальной зависимости (6) или по рис. 2, полученному на основе анализа литературных данных.

$$\psi_k = 2,95 u_E / h q_{СРС}. \quad (6)$$

Естественная конвекция может снять всю теплоту дыхания при значении комплекса $q_{СРС} h / u_E \leq 2,95$. Доля биологической теплоты, удаляемой естественной конвекцией, снижается с уменьшением скорости воздуха в насыпи u_E , м/с, с увеличением высоты насыпи h , м, и интенсивности удельных тепловыделений сочного растительного сырья $q_{СРС}$, Вт/т.

Среднечасовое количество теплоты, вносимое за цикл ЕК в свободный объем хранилищ, составляет $Q_{ЕК}^{cp} = Q_{ЕК}^{max}$. В период цикла вынужденной конвекции (ВК), длящегося m ч, доля теплоты дыхания не превышает для картофеля и свеклы 1,8 %, для моркови 1,9 %, для капусты 2,8 % [6]. Основное количество теплоты поступает в хранилище с воздухом, нагреваемым в слое СРС. Выразим его среднеарифметической величиной теплоступлений в начале и в конце цикла ВК $Q_{ВК}^{cp} = (Q_{ВК}^{max} + Q_{ВК}^{min}) / 2$.

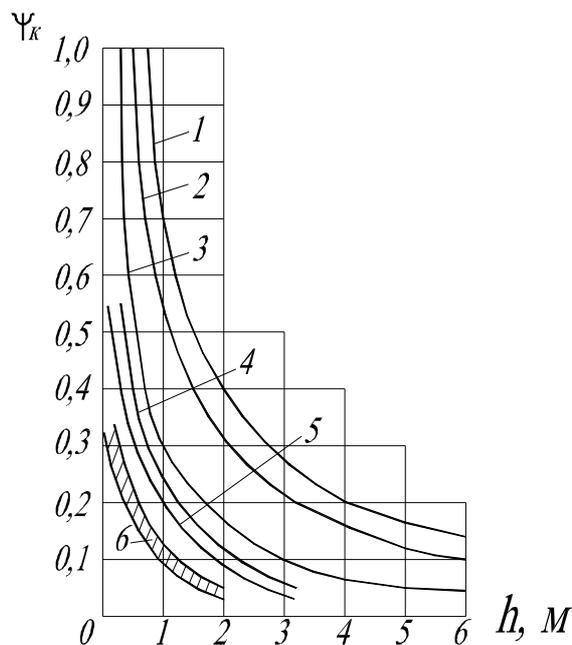


Рис. 2. Значения коэффициента ψ_k для насыпей клубней и кочанов: 1 – нетравмированные клубни с $q_{СРС}$ по [5]; 2 – травмированные клубни с $q_{СРС}$ по [5]; 3 – средне реализуемая насыпь клубней [6]; 4 – нетравмированные кочаны с $q_{СРС}$ по [5] до усадки; 5 – средне реализуемая насыпь кочанов до усадки [6]; 6 – нетравмированные кочаны с $q_{СРС}$ по [5] после усадки [6]

При расчете теплоустойчивости помещений хранилищ возмущающие воздействия в свободной верхней зоне за полный цикл работы САВ можно представить количественно следующими величинами: подача теплоты отсутствует в период ЕК длительностью $(1 - K_B)$, где $K_B = m / T$ – доля времени цикла вынужденной конвекции; количество теплоты равно постоянной величине $Q_{ВК}^{cp}$ в период цикла ВК длительностью K_B (жирная пунктирная линия на рис. 3).

Среднечасовое количество теплоты определяется из выражения:

$$Q_{BK}^{cp} = [q_{CPC} G_p K_B + Q_{EK}^{cp} (1 - K_B)] / K_B. \quad (7)$$

Коэффициент прерывистости Ω зависит от величины коэффициента K_B и момента времени z / T , для которого определяется значение $\Delta\phi_{в.п}$. Максимальное повышение температуры поверхности ограждения соответствует моменту времени окончания подачи теплоты, то есть моменту окончания цикла ВК (рис. 3).

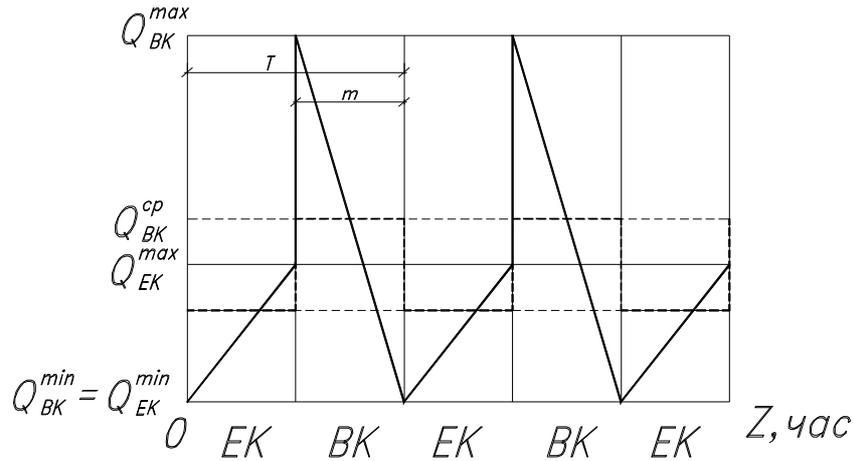


Рис. 3. Интенсивность поступления теплоты в верхнюю зону хранилища

Показатель теплопоглощения помещения определяется по значениям показателей теплопоглощения Y_i и площадей F_i отдельных ограждений аналогично значению P в формуле (4):

$$Y_n = \sum Y_i F_i.$$

Полный перепад температур поверхностей за время T составляет:

$$\phi_{в.п}^{max} - \phi_{в.п}^{min} = Q_{BK}^{cp} (\Omega_{max} - \Omega_{min}) / Y_n, \quad (8)$$

где Ω_{max} и Ω_{min} – максимальное и минимальное значения коэффициента прерывистости [1].

При циклическом притоке теплоты в хранилище изменение температуры воздуха свободного объема $\Delta t_{в.п}$ отличается от изменения температур поверхностей наружных ограждений $\Delta t_{в.п.г}$:

$$\Delta t_{в.п} = \Delta \phi_{в.п.г} + Q_{BK}^{cp} / \Lambda. \quad (9)$$

Полный перепад температуры воздуха за период времени T выразится зависимостью:

$$t_{в.п}^{max} - t_{в.п}^{min} = t_{в.п.г}^{max} - t_{в.п.г}^{min} + Q_{BK}^{cp} / \Lambda, \quad (10)$$

где $\Lambda = \sum a_{ki} F_i$ – показатель конвективного теплообмена в помещении.

Отклонение температур поверхностей и воздуха в помещении в любой момент через z ч после начала тепловыделений определяется по методике, приведенной в [1].

Пример. Определим теплоустойчивость помещения типового хранилища.

Навальное картофелехранилище имеет емкость $G_p = 1200$ т, высота насыпи $h = 3,0$ м, интенсивность биологических тепловыделений $q_{CPC} = 17,0$ Вт/т, объем насыпи клубней $V_k = 1850$ м³. Температура поступающего в насыпь воздуха $t_{в.о} = 1,5$ °С, допустимое колебание температуры насыпи $t_{к max} - t_{к min} = 2$ °С, минимальная температура воздуха в хранилище в конце цикла вынужденной конвекции $t_b = 2,5$ °С, коэффициент $K_B = 0,229$ ($m = 5,5$ ч).

Интенсивность естественной конвекции в насыпи (м/ч) при средней разности температур клубней и воздуха хранилища $\Delta t_{BE} = 2$ °С равна [6]:

$$u_E = 0,94 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 \Delta t_{в.е} = 0,94 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 6,76 \text{ м/ч.}$$

По (7) определим среднечасовое количество теплоты, удаляемой из насыпи:

$$Q_{в.к}^{cp} = [q_{CPC} G_p K_B + 0,587 G_p u_E (1 - K_B) / h] / K_B = \\ = [17,0 \cdot 1200 \cdot 0,229 + 0,587 \cdot 1200 \cdot 6,76 (1 - 0,229) / 3] / 0,229 = 25750 \text{ Вт.}$$

При $m = 5,5$ ч, $T = 24$ ч значения $\Omega_{max} = 0,829$, $\Omega_{min} = -0,545$ [1].

Значения показателя теплоусвоения помещения Y_n находим по [1]. Наружная стена выполнена из силикатного кирпича $\delta = 0,64$ м, $F_{ст} = 595$ м². Бесчердачное покрытие $F_{покp} = 1080$ м² состоит из водоизоляционного ковра, выравнивающего слоя, теплоизоляции (керамзита), пароизоляционного слоя и несущих железобетонных ребристых плит. Внутренние стены площадью $F_b = 120$ м² из силикатного кирпича, пол из асфальтобетона $F_{пл} = 108$ м². Поверхность картофеля в теплопоглощении не участвует.

Вычисленные значения показателей теплоусвоения для отдельных видов ограждений равны: для наружных стен $Y_n = 9,75$ Вт/(м² °С); для покрытия $Y_n = 8,50$; для внутренних стен $Y_b = 6,53$; для пола $Y_n = 32,6$ Вт/(м² °С). Показатель теплоусвоения хранилища:

$$Y_n = 35,07 \cdot 595 + 30,58 \cdot 1080 + 23,5 \cdot 120 + 117,36 \cdot 108 = 19270 \text{ Вт} / ^\circ\text{C}.$$

Полный перепад температур поверхностей

$$\phi_{в.п}^{max} - t_{в.п}^{min} = Q_{в.к}^{cp} (\Omega_{max} - \Omega_{min}) / Y_n = 25750 [0,829 - (-0,545)] / 19270 = 1,84 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для предотвращения конденсации влаги на ограждениях минимальное значение перепада температур внутреннего воздуха и внутренних поверхностей принимаем равным $0,6$ °С.

По [7] коэффициенты конвективной теплоотдачи для помещений с повышенной относительной влажностью для вертикальных и горизонтальных поверхностей равны:

$$\alpha_{к.в} = 10,9 \sqrt[3]{(t_b - \tau_b)}; \alpha_{к.г} = 13,4 \sqrt[3]{(t_b - \tau_b)}.$$

Тогда $\bar{b}_{к.в} = 10,9 \sqrt[3]{0,6} = 9,22$ Вт / (м² °С); $\bar{a}_{к.г} = 13,4 \sqrt[3]{0,6} = 11,33$ Вт / (м² °С).

Показатель конвективного теплообмена в помещении $\Lambda = 17730$ Вт/°С. Полный перепад за цикл работы САВ по (10) составляет $(t_{в.п}^{max} - t_{в.п}^{min}) = 1,84 + 25750 / 17730 = 1,84 + 1,45 = 3,29$ °С.

Для г. Нижнего Новгорода с $t_n = -31$ °С разница в теплотерях хранилищем между началом и концом цикла работы САВ составляет $\{100[2+3.29-(-31)]/\{2-(-31)\}\} - 100 = 11$ %.

Заключение. Теплоустойчивость животноводческих помещений рассчитывается по методике для производственных зданий, приводимой в нормативной и специальной литературе. Разработанная методика расчета теплоустойчивости овощекартофелехранилищ позволила выявить, что наиболее неблагоприятные температурные условия в помещениях хранилища создаются в цикле естественной конвекции, когда теплоступления в верхнюю зону минимальны. Поэтому период цикла естественной конвекции должен приниматься в качестве расчетного при нормировании теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций: минимальные температуры t_b и максимальные значения относительной влажности внутреннего воздуха ϕ_b из рекомендуемых [5] для каждого из видов хранящейся продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.
2. Кувшинов Ю.А. Развитие теории теплоустойчивости // Сб. трудов II съезда АВОК, т. 1, 1992. – С. 35-43.
3. Волков М.А. Тепло- и массообменные процессы при хранении пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 272 с.
4. Жадан В.З. Влагообмен в плодоовощехранилищах. – М.: Агропромиздат, 1985. – 197 с.
5. ОНТП 6-86. Общесоюзные нормы технологического проектирования зданий и сооружений для хранения и переработки картофеля и плодоовощной продукции. – М.: Минплодоовощхоз СССР, 1986. – 40 с.
6. Бодров В.И. Хранение картофеля и овощей: Инженерные методы создания и поддержания технологического микроклимата. – Горький: Волго-Вятск. кн. изд-во, 1985. – 220 с.
7. Егиазаров А.Г., Кокорин О.Я., Прыгунов Ю.М. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий. – Киев: Будівельник, 1976. – 223 с.