



Методика расчёта теплоустойчивости помещений производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений

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, например, [1, 2]. Этот вывод базируется на постоянстве (стационарности в течение суток) поступления теплоты в помещения, теплопотери в них зависят 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 объём помещения в течение суток. Далее рассмотрены особенности расчёта теплоустойчивости помещений для содержания животных и разработана методика расчёта теплоустойчивости помещений овощехранилищ.

Теплоустойчивость животноводческих и птицеводческих помещений

Рассмотрим основные особенности и последовательность расчёта теплоустойчивости животноводческих помещений. Соотношение между колебаниями тепло-

вого 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_{t_b} , рассчитывается по формуле:

$$\frac{A_{t_b}}{A_{t_b}} = 1 + \frac{Y_1}{\alpha_b}, \quad (1)$$

где Y_1 — коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждения; $Y_1 = A_q/A_{t_b}$ (индекс у коэффициента показывает порядок отсчёта слоёв 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·°C)] равно:

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

Амплитуда изменения теплового потока A_q , поглощаемого поверхностью при колебаниях температуры среды A_{t_b} , составляет $A_q = BA_{t_b}$. Если ограждение

УДК 628.8:631.2

Методика расчёта теплоустойчивости помещений производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений

М. В. Бодров, д.т.н., профессор; **А. О. Зимин**, бакалавр, ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

Разработана методика расчёта теплоустойчивости животноводческих зданий и овощехранилищ, для которых характерна цикличность поступления теплоты в течение суток. При нормировании теплотехнических характеристик наружных ограждений за расчётный 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.

УДК 628.8:631.2

The methodology of calculation of thermo-stability premises of industrial agricultural buildings and structures

M. V. Bodrov, Doctor of Engineering Sciences, Professor; **A. O. Zimin**, bachelor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNSUACE)

The method of calculation of heat-resistance of livestock buildings and vegetable-potato storage facilities, which are characterized by cyclicity of receipt of heat during the day. When evaluating the thermal performance of outdoor enclosures for the billing cycle has to be taken of natural ventilation, which are added the most adverse temperature conditions.

Keywords: heat absorption coefficients of heat-resistance and fences and flat, active cycles of operation and natural ventilation systems.

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 тепlopоступлений A_q равна амплитуде тепlopоглощений всеми поверхностями:

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

Из (3) имеем основное уравнение теплоустойчивости:

$$A_{t_b} = \frac{A_q}{P}, \quad (4)$$

где $P = \sum(YF)$ — показатель тепlopоглощения помещения, равный суммарной тепlopоглощающей способности всех поверхностей в помещении.

Приведённые зависимости позволяют с достаточной точностью провести расчёт колебаний температуры воздуха в животноводческих помещениях.

Теплоустойчивость овощехранилищ

Проведённые исследования [3, 4] позволяют сделать вывод о большой тепловой инерционности как насыпей сочного растительного сырья (СРС), так и хранилищ в целом. Выполненные теплофизические расчёты по определению теплоустойчивости наружных ограждений типовых хранилищ дают значения показателя затухания температурных колебаний для бесчердачных покрытий $v \approx 700$ и для наружных стен $v \approx 400$, показателя запаздывания сквозного проникновения температур $\epsilon \approx 23$ и 26 ч, соответственно. Поэтому суточные колебания температуры наружного воздуха не оказывают практического влияния на температуру их внутренних поверхностей. Подтверждением этого положения являются по-

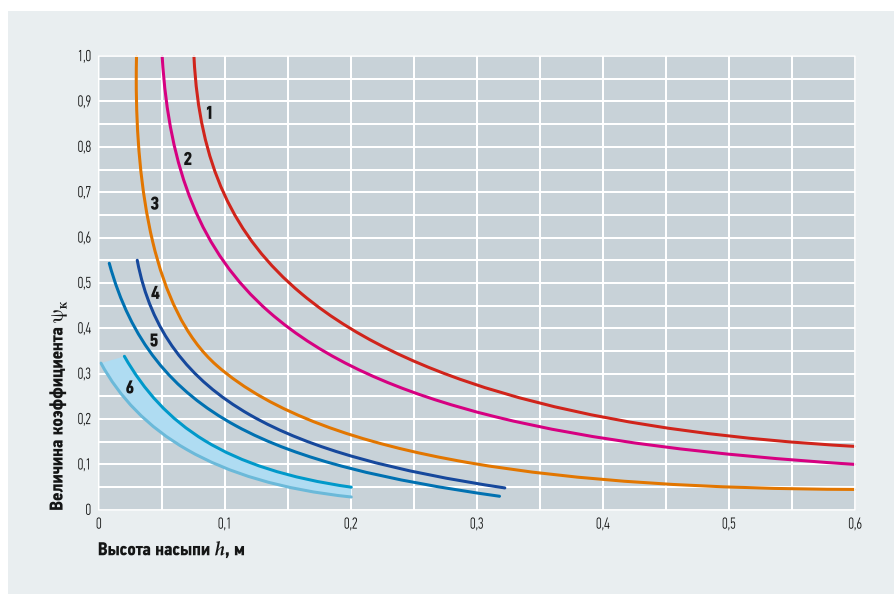


Рис. 1. Значения коэффициента ψ_k для насыпей клубней и кочанов (1 — неутраченные клубни с $q_{срс}$ по [5]; 2 — утраченные клубни с $q_{срс}$ по [5]; 3 — среднеосуществуемая насыпь клубней [6]; 4 — неутраченные кочаны с $q_{срс}$ по [5] до усадки; 5 — среднеосуществуемая насыпь кочанов до усадки [6]; 6 — неутраченные кочаны с $q_{срс}$ по [5] после усадки [6])

лученные нами термограммы и гигрограммы параметров воздуха в зимний период года [1] в полузаглублённом картофелехранилище.

Выявим периоды наиболее неблагоприятных температурных условий в свободном объёме хранилища V_c , создающихся при циклической работе систем активной вентиляции (СAB). Такие исследования необходимы для уточнения минимальной мощности систем отопления, а также для обоснования выбора объективных исходных данных при нормировании и расчёте теплотехнических характеристик наружных ограждений данных хранилищ.

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о большой тепловой инерционности как насыпей сочного растительного сырья, так и хранилищ в целом. Выполнены теплофизические расчёты по определению теплоустойчивости наружных ограждений типовых хранилищ

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

$$Q_{ек}^{max} = Q_6 \psi_k. \quad (5)$$

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. 1, полученному на основе анализа литературных данных:

$$\psi_k = \frac{2,95 u_e}{h q_{срс}}. \quad (6)$$

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 естественной конвекции в свободный объём хранилищ, составляет $Q_{ек}^{cp} = Q_{ек}^{max}$. В период цикла вынужденной конвекции (ВК), длящегося m часов, доля теплоты дыхания не превышает для картофеля и свёклы 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 тепlopоступлений в начале и в конце цикла ВК:

$$Q_{вк}^{cp} = 0,5(Q_{вк}^{max} + Q_{вк}^{min}).$$



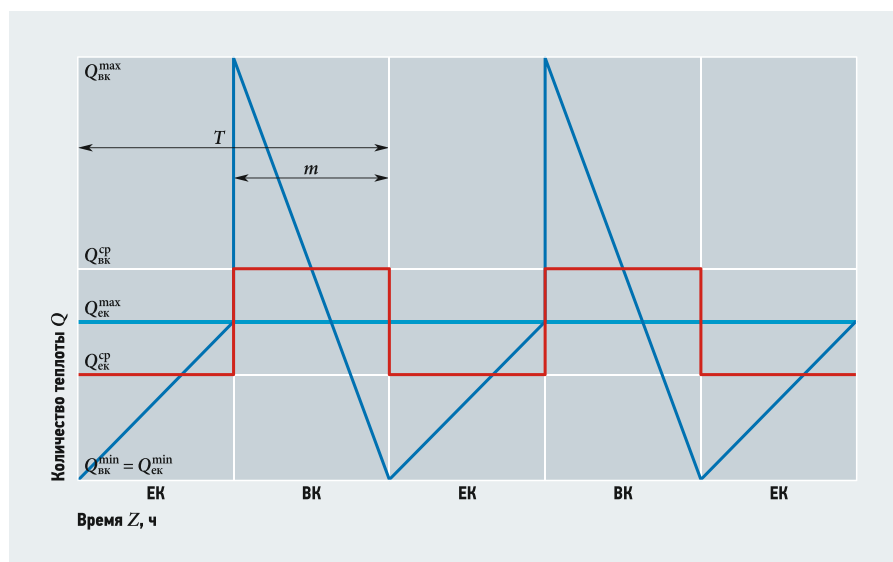


Рис. 2. Интенсивность поступления теплоты в верхнюю зону хранилища

При расчёте теплоустойчивости помещений хранилищ возмущающие воздействия в свободной верхней зоне за полный цикл работы системы активной вентиляции можно представить количеством теплоты, отсутствующим в период ЕК длительностью $(1 - K_v)$, где $K_v = m/T$ — доля времени цикла вынужденной конвекции; количество теплоты равно постоянной величине $Q_{вк}^{cp}$ в период цикла ВК длительностью K_v (рис. 2).

Среднечасовое количество теплоты определяется из выражения:

$$Q_{вк}^{cp} = \frac{q_{срс} G_p K_v + Q_{ек}^{cp} (1 - K_v)}{K_v}. \quad (7)$$

Коэффициент прерывистости Ω зависит от величины коэффициента K_v и момента времени Z/T , для которого определяется значение $\Delta t_{в.п.}$. Максимальное повышение поверхности ограждения соответствует моменту времени окончания

подачи теплоты, то есть моменту окончания цикла ВК (рис. 2).

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:

$$\tau_{в.п.}^{max} - \tau_{в.п.}^{min} = \frac{Q_{вк}^{cp}}{Y_n} (\Omega_{max} - \Omega_{min}), \quad (8)$$

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

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

$$\Delta t_{в.п.} = \Delta \tau_{в.п.} + \frac{Q_{вк}^{cp}}{\Lambda}, \quad (9)$$

Полный перепад температуры воздуха за период времени T выразится следующей зависимостью:

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

где $\Lambda = \sum (\alpha_{ki} F_i)$ — показатель конвективного теплообмена в помещении.

Отклонение температур поверхностей и воздуха в помещении в любой момент через Z часов после начала тепловыделений определяется аналогично по методике, приведённой в [1].

Заключение

Теплоустойчивость животноводческих помещений рассчитывается по методике для производственных зданий, приводимой в нормативной и специальной литературе. Разработанная методика расчёта теплоустойчивости овощехранилищ 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 расчётного при нормировании теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций: минимальные температуры t_v и максимальные значения относительной влажности воздуха ϕ_v внутреннего воздуха из рекомендуемых [5] для каждого из видов хранящейся продукции. ●

Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Разработка и научное обоснование теплофизических закономерностей переноса теплоты и влаги в неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданиях» (код проекта 3008) с финансированием из средств Минобрнауки России, в рамках базовой части государственного задания на научные исследования.

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учеб. для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. — 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.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 272 с.
4. Жадан В.З. Влагообмен в плодовоовощехранилищах. — М.: Агропромиздат, 1985. 197 с.
5. ОНТП 6-86. Общесоюзные нормы технологического проектирования зданий и сооружений для хранения и переработки картофеля и плодовоовощной продукции. — М.: Минплодоовощхоз СССР, 1986. 40 с.
6. Бодров В.И. Хранение картофеля и овощей: Инженерные методы создания и поддержания технологического микроклимата. — Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1985. 220 с.
7. Егизаров А.Г., Кокорин О.Я., Прыгунов Ю.М. Отопление и вентиляция сельскохозяйственных зданий. — Киев: Будівельник, 1976. 223 с.



The methodology of calculation o thermo-stability premises of industrial agricultural buildings and structures. Pages 102–104.

M. V. Bodrov, Doctor of Engineering Sciences, Professor; **A. O. Zimin**, bachelor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (NNSUACE)

1. Bogoslovskij V.N. Stroitel'naja teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopenija, ventiljacii i kondicionirovanija vozduha): Ucheb. dlja vuzov. Izd. 2-e, pererab. i dop. [Construction thermal physics (fundamental thermal physics of heating, ventilation and air conditioning systems): Textbook for universities. 2nd edition, rev. and exp.]. Moscow. Izdatel'stvo Vysshaja Shkola ["High School" Publishers]. 1982. 415 p.
2. Kuvshinov Ju.A. Razvitie teorii teploustojchivosti [The development of the theory of thermal stability]. Sb. trudov II S#ezda AVOK. T. 1 [Proc. of II AVOK Congress. Vol. 1]. 1992. Pp. 35–43.
3. Volkov M.A. Teplo- i massoobmennye processy pri hranenii pishhevyh produktov [Heat- and mass-transfer processes in food storage]. Moscow. Legkaja i pishhevaja promyshlennost' [Consumer goods and food processing industry of the USSR]. 1982. 272 p.
4. Zhadan V.Z. Vлагообмен v plodoovoshhehranilishhah [Moisture exchange in the storage of fruit and vegetables]. Moscow. Izdatel'stvo Agropromizdat ["Agricultural Industry" Publishers]. 1985. 197 p.
5. ONTP 6-86. Obshhesojuznye normy tehnologicheskogo proektirovanija zdaniy i sooruzhenij dlja hranenija i pererabotki kartofelja i plodoovoshhnoj produkcii. Moscow. Min-plodoovoshhhoz SSSR [The Department of the fruit and vegetable sector of the USSR]. 1986. 40 p.
6. Bodrov V.I. Hranenie kartofelja i ovoshhej: Inzhenernye metody sozdaniya i podderzhanija tehnologicheskogo mikroklimata [Storage of potatoes and vegetables: Engineering methods of creation and the sub-holding process microclimate]. Gor'kij [Nizhny Novgorod]. Volgo-Vjatskoe kn. izd-vo [Volga-Vyatka Book Publishing House]. 1985. 220 p.
7. Egjazarov A.G., Kokorin O.Ja., Prygunov Ju.M. Otoplenie i ventiljacija sel'skohozjajstvennyh zdaniy [Heating and ventilation of agricultural buildings]. Kiev. Izdatel'stvo Budivel'nik ["Thunderbird" Publishers]. 1976. 223 p.