



www.soujstock.in

Повышение энергоэффективности и эксплуатационной надежности систем обеспечения параметров микроклимата животноводческих зданий и сооружений

М. В. Бодров, д-р техн. наук, заведующий кафедрой отопления и вентиляции, доцент ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

М. С. Морозов, старший преподаватель кафедры отопления и вентиляции ННГАСУ

А. Е. Руин, магистрант кафедры отопления и вентиляции ННГАСУ

А. А. Смыков, аспирант, ассистент кафедры отопления и вентиляции ННГАСУ

Ключевые слова: животноводческие помещения, энергоэффективность, энергосбережение, лучистое отопление, инфракрасные излучатели

В статье приведены основы научно-методологического подхода к созданию энергоэффективных животноводческих зданий и сооружений. Рассмотрена возможность применения в коровниках и свинарниках систем низкотемпературного лучистого отопления. Представлены результаты исследований систем лучистого отопления в лабораторных условиях ННГАСУ и рассмотрены перспективы их дальнейшего использования в сельском хозяйстве.

В настоящее время одной из первостепенных задач Правительства Российской Федерации является укрепление продовольственной безопасности нашей страны [1]. Уменьшение себестоимости и издержек в животноводстве (крупный рогатый скот, свиноводство и др.) может быть достигнуто повышением энергоэффективности и снижением энергоемкости таких производственных сельскохозяйственных предприятий.

В течение последних 50 лет в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете (ННГАСУ) под руководством профессора, д-ра техн. наук В. И. Бодрова (1941–2020) была создана, развивается и успешно функционирует научная школа по разработке энергоэффективных систем обеспечения параметров микроклимата

(СОМ) животноводческих зданий, в т. ч. коровников и свиноводческих комплексов.

Проблематика проводимых в ННГАСУ исследований сводится к решению двух основных технологических задач:

- минимизация (вплоть до нулевого значения) потребления животноводческими и свиноводческими комплексами искусственно сгенерированной энергии;
- оптимизация конструктивного исполнения отопительно-вентиляционных систем в производственных сельскохозяйственных зданиях по критериям энергоэффективности, эксплуатационной надежности и повышения биологически-ветеринарных показателей содержащихся животных.

Решение первой задачи возможно путем разработки научно обоснованного методологического подхода, основное положение которого следующее: при наличии в неотапливаемых животноводческих зданиях (коровниках и свинарниках) в холодный период года постоянно действующих биологических тепловыделений от животных (Q_6) теплофизические характеристики наружных ограждений должны обеспечивать такой удельный тепловой поток через них, чтобы предотвратить переохлаждение животных ($\Sigma Q = 0$) при расчетной температуре наружного воздуха t_n . Наличие постоянных тепловыделений Q_6 не позволяет рассчитывать теплофизические характеристики свиноводческих комплексов по аналогии с гражданскими зданиями из-за большой погрешности в расчетах [3, 4]. Приведенная трактовка энергетического баланса здания, имеющего конкретное функциональное назначение, методологически обосновывает принятие за основу нормирования сопротивления теплопередаче наружных ограждений R_0^{TP} , м²·°С/Вт, удельного нормируемого теплового потока q_6^H , Вт/м²:

$$R_0^{TP} = n \frac{(t_b - t_n)}{q_6^H}, \quad (1)$$

$$q_6^H = \frac{(1-m)Q_6}{F}, \quad (2)$$

где $F = F_{ст} + F_{покp}$ – площадь наружных стен и покрытия, м²;

m – коэффициент, учитывающий долю теплопотерь через полы, подземные или обвалованные части зданий: $m = 0,03-0,05$ для надземных; $m = 0,08-0,10$ с обваловкой $\approx 0,5$ высоты наружных стен; $m = 0,25-0,30$ для полностью заглубленных или обвалованных зданий.

Одним из преимуществ данной трактовки теплового баланса является отсутствие необходимости определения нормируемого перепада Δt^H , °С по СНиП [2], определяемого по формуле (3), а также коэффициентов теплообмена на внутренней поверхности ограждений α_b , Вт/(м²·°С).

$$\Delta t^H = t_b - t_{т,р}, \quad (3)$$

где t_b – температура внутреннего воздуха, °С,

$t_{т,р}$ – температура точки росы на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций, °С.

Отметим, что при нестационарных условиях теплообмена при низких температурах внутреннего воздуха t_b и высоких значениях относительной

влажности ϕ_b в коровниках, а тем более в свиноводческих комплексах, добиться высокой точности определения Δt^H и α_b не представляется возможным.

Другим неоспоримым преимуществом методики определения R_0^{TP} является учет взаимосвязи функционального технологического назначения животноводческих зданий с биологическими характеристиками содержащихся в них животных. Особенно важно при проектировании коровников и свиноводческих комплексов добиваться максимальной загрузки помещений путем рационального секционирования.

В процессе жизнедеятельности коровы, телята, свиньи и поросята выделяют влагу $j_{жк}$, г/ч, количество которой приведено в [6, 7].

Следовательно, для ассимиляции влагоизбытков в помещения коровников и свинарников надо подавать минимально необходимое количество воздуха $G_{н,мин}$, кг/ч, определяемое по формуле (4):

$$G_{н,мин} = \frac{G_{вл}}{d_{уд} - d_{пр}}, \quad (4)$$

где $G_{вл}$ – количество влаги, выделяемое всем поголовьем, г/ч, определяемое как

$$G_{вл} = j_{св} \cdot n, \quad (5)$$

n – поголовье животных в рассматриваемом помещении, гол.;

$d_{уд}$ и $d_{пр}$ – влажосодержание удаляемого из помещения и приточного воздуха соответственно, г/кг сухого воздуха.

Таким образом, максимальные затраты теплоты на нагрев приточного наружного воздуха в холодный период года составляют:

$$Q_{наг} = Q_{вент}^{max} = c_b G_{н,мин} (t_n^1 - t_n), \quad (6)$$

где c_b – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);

t_n^1 – условная температура наружного воздуха, начиная с которой требуется его подогрев, °С.

Важно отметить, что необходимость затрачивать теплоту для нагрева наружного приточного воздуха не позволяет рассматривать животноводческие комплексы как полностью неотапливаемые. Условная температура наружного воздуха t_n^1 определяется из теплового баланса каждого конкретного сооружения коровника или свинарника:

$$t_n^1 = t_b - \frac{Q_6}{\frac{F}{R_0^{TP}} + c_b G_{н,мин}}. \quad (7)$$

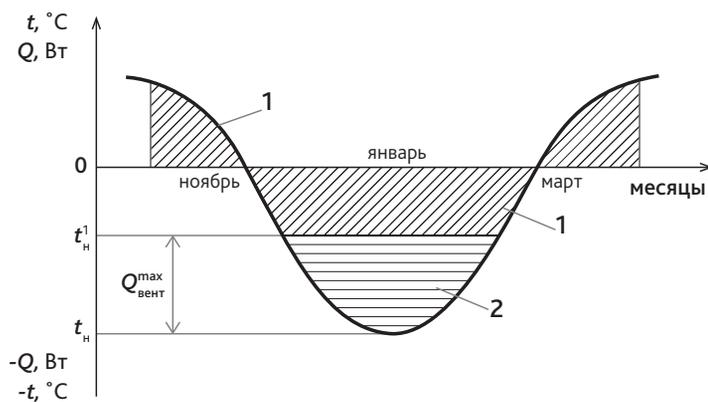


Рис. 1. Динамика тепловых балансов животноводческих комплексов: 1 – теплоизбытки; 2 – теплонедежности

Анализ формулы (7) позволяет сделать вывод, что при понижении текущей температуры наружного воздуха от t_n^1 до расчетной температуры по СП [8] теплотраты на подогрев наружного воздуха увеличиваются от 0 до $Q_{\text{вент}}^{\text{max}}$, а в остальной период, когда текущая температура наружного воздуха $t_n > t_n^1$, в свинарниках, и особенно в коровниках, имеются теплоизбытки (графическая интерпретация представлена на рис. 1).

Разработанная методика определения R_0^{TP} в общем случае приводит к значительному увеличению сопротивления теплопередаче ограждений по сравнению с типовыми проектами коровников и свинарников советского периода, что уменьшает вероятность выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных ограждений и коррелирует с последними действующими документами в области теплозащиты.

Зависимости (6) и (7) получены и справедливы при расчетной технологической заполняемости свинарника животными n , гол. Однако в практике эксплуатации животноводческих комплексов реальная степень заполняемости коровников и свинарников варьируется, и, как следствие, должны предусматриваться дополнительные системы отопления мощностью $Q_{\text{от}}^{\text{доп}}$ для восполнения недостатков теплоты при нерасчетных условиях эксплуатации зданий.

Расчетная мощность дополнительных резервных систем отопления возрастает обратно пропорционально степени загрузки помещения коровника или свинарника животными a :

$$a = n_d/n, \quad (8)$$

$$Q_{\text{от}}^{\text{доп}} = (n - n_d)q_{\text{ж}} = n(1 - a)q_{\text{ж}}, \quad (9)$$

где n_d – действительное заполнение свиноводческого комплекса животными, гол.;

$q_{\text{ж}}$ – явные тепловыделения от одного животного (коровы, теленка, свиньи или поросят) (согласно [6, 7]), Вт/гол.

Сделан вывод, что при условии неполного (нерасчетного) заполнения свинарника зависимость по определению условной температуры наружного воздуха t_n^{1a} имеет вид:

$$t_n^{1a} = t_n - \frac{aQ_{\text{б}}}{\frac{F}{R_0^{\text{TP}}} + c_{\text{в}}G_{\text{н.min}}}. \quad (10)$$

Общее энергопотребление $Q_{\text{от}}$ складывается из затрат на нагрев минимального количества наружного приточного воздуха в холодный период года $Q_{\text{наг}}$ (6) и мощности систем дополнительного отопления (9):

$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{наг}} + Q_{\text{от}}^{\text{доп}}. \quad (11)$$

При исследовании второй задачи, а именно – выбора наиболее рациональной отопительной системы для восполнения дефицита теплоты $Q_{\text{от}}^{\text{доп}}$, помещения содержания крупного рогатого скота, свиней, а также помещения со специфичными требованиями к параметрам микроклимата (телятники, доильные отделения, ветеринарные блоки, помещения содержания молочных поросят и пр.) предлагается оборудовать системами лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей (ВИИ).

Отопительными приборами в данных системах являются излучающие профили, а в качестве теплоносителя используется горячая вода, приготовляемая в котельной или при помощи возобновляемых источников энергии ($t_{\text{г}}$ от +30 до +130 °C). Тепловая энергия передается от теплоносителя к ВИИ, который, в свою очередь, начинает излучать электромагнитные волны в инфракрасном диапазоне, что обеспечивает отопление обслуживаемого помещения. Несомненными и неоспоримыми преимуществами использования систем лучистого отопления в животноводческих комплексах вместо традиционных конвекционных и воздушных систем являются:

- низкая тепловая инерция, что обеспечивает короткое время реагирования;
- простое и эффективное регулирование за счет небольшого количества теплоносителя в системе;
- направленная подача тепловой энергии в рабочую зону помещения, что позволяет создать зональную систему отопления;



■ Рис. 2. Общий вид лаборатории УНИЦ «СОНИИ» ННГАСУ

- простота монтажа и обслуживания за счет кратного уменьшения длины транзитных трубопроводов;
- снижение трансмиссионных тепловых потерь через покрытие здания благодаря небольшому градиенту температуры воздуха по высоте помещения и отсутствию «тепловой подушки»;
- возможность применения возобновляемых источников энергии и систем рекуперации теплоты;
- отсутствие сквозняков и пылевых масс благодаря минимизации конвективных процессов;
- бесшумная работа системы;
- экономия пространства;
- долгий срок службы.

В период с 2018 по 2022 год в Учебно-научно-исследовательском центре «Системы отопления с использованием низкотемпературных инфракрасных излучателей» ННГАСУ (далее – УНИЦ «СОНИИ», рис. 2), авторским коллективом были проведены

РОССИЙСКИЙ РЫНОК ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Промышленные электрокотлы отопления и водонагреватели «Невский»

Компания «Невский» поздравляет всех с годом народного искусства и нематериального культурного наследия народов России!

Представьте, что вы находитесь на Крайнем Севере в небольшом городке, куда продукты привозят вертолетом, зимой заметает все вокруг двухметровыми сугробами и единственные соседи – белые медведи.

Даже в такие отдаленные уголки, где требуется тепло и горячая вода, компания «Невский» поставляет котлы и водонагреватели собственного производства с 1993 года.

Наше оборудование применяется для отопления и ГВС производственных и общественных зданий, а также для организации автономной системы отопления и водоснабжения в больницах, школах, гостиницах, многоквартирных домах, спортивных и туристических объектах:

- г. Островной, Мурманская обл.;
- стадион «Газпром Арена», г. Санкт-Петербург;
- Институт ядерной медицины, г. Химки;
- завод «Алмаз», г. Санкт-Петербург;
- ПАО «Тольяттиазот» (ТОАЗ);
- порт Усть-Луга, Ленинградская обл.;
- санаторий «Марциальные воды», Карелия;
- Амурский ГХК и многие другие.

Промышленные электрокотлы «Невский» обладают мощностью от 150 кВт до нескольких мегаватт и повышенной эффективностью, КПД котла приближается к 100 %.

Промышленные проточные водонагреватели «Невский» имеют мощность от 35 до 1000 кВт и производительность от 1000 до 30 000 л/ч.





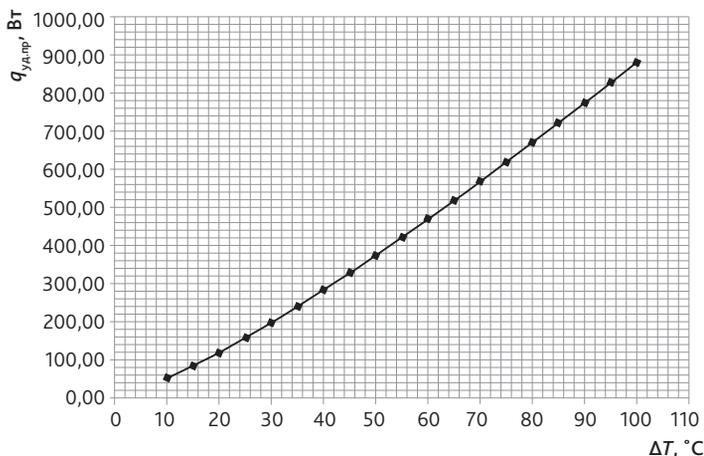
■ Рис. 3. Общий вид профиля

исследования теплотехнических свойств потолочных подвесных излучающих профилей Helios 750, выполненных из анодированного алюминиевого сплава AlMgSi0,5 (рис. 3).

Результатом проведенных в УНИЦ «СОНИИ» ННГАСУ исследований является полученная зависимость определения теплоотдачи 1 пог. м профиля Helios 750 $q_{уд.пр}$, Вт, от температурного напора ΔT , °C, представленная на рис. 4 (где $\Delta T = (t_r - t_o) / 2 - t_b$, а t_r , t_o – температуры в подающем и обратном трубопроводах системы отопления соответственно).

Лабораторные испытания систем водяного лучистого отопления показали их высокую эффективность, а полученные при исследованиях данные легли в основу «Рекомендаций по проектированию систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей марки Helios 750», являющихся, по сути, инженерной методикой для расчета теплового режима помещений различного назначения.

В заключение отметим, что основным преимуществом использования систем лучистого отопления в животноводческих помещениях является передача теплоты непосредственно поверхностям в помещении (в т. ч. поверхности тела животных) без нагрева воздуха помещения [9, 10].



■ Рис. 4. Тепловая мощность 1 пог. м излучателя в зависимости от температурного напора

Более высокие степени теплового комфорта в помещениях достигаются за счет повышения уровня радиационной температуры помещения, а также равномерного распределения температуры воздуха по высоте и отсутствия перегрева верхней зоны и недогрева нижней зоны помещения, что заметно повышает ветеринарные показатели продуктивности производства.

Также неоспоримым преимуществом, особенно в свинарниках, где наблюдаются повышенные значения концентрации аммиачных соединений в воздухе, является устройство системы отопления, не поддающейся коррозии, что снижает эксплуатационные затраты и, как следствие, себестоимость производства животноводства.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 11.08.2022 № 2217-р «О внесении изменений в перечень показателей в сфере обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации», утв. распоряжением Правительства РФ от 10.02.2021 № 296-р.
2. СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника».
3. Бодров В. И., Бодров М. В. и др. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2008.
4. Бодров М. В. Отопление и вентиляция животноводческих и птицеводческих зданий. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012.
5. Бодров В. И., Махов Л. М., Троицкая Е. В. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных сельскохозяйственных зданий. – М.: Изд-во АСВ, 2014.
6. РД-АПК 1.10.01.02-10. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. – М., 2012.
7. РД-АПК 1.10.02.04-12. Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов. – М., 2010.
8. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология».
9. Бодров М. В., Седнев Д. Е. и др. Применение технологий низкотемпературного лучистого отопления в помещениях содержания крупного рогатого скота // Приволжский научный журнал. – 2020. – № 4(56). – С. 114–118.
10. Бодров М. В., Смыков А. А. Снижение энергоемкости и повышение экологической безопасности производственных помещений при использовании систем лучистого отопления на базе водяных инфракрасных излучателей // Вестник МГСУ. – 2021. – № 12(157). – С. 1599–1607.