



УДК 628.8:631.22

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АРХИТЕКТУРНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-85;
эл. почта: tes84@mail.ru

Ключевые слова: энергосбережение, производственные сельскохозяйственные здания, освещенность, расчетные параметры микроклимата.

Рассмотрены основы формирования эффективных архитектурных и инженерных технологических решений по управлению расчетными параметрами микроклимата помещений содержания крупного рогатого скота и свиноводства. Приведены основы анализа освещенности, температурно-влажностного режима на продуктивность животных и эксплуатационные характеристики животноводческих комплексов.

Повышение продовольственной безопасности является одной из приоритетных задач в нашей стране. Экономический подход к вопросам повышения продуктивности животных (крупного рогатого скота (КРС), свиней и др.) включает в себя снижение показателей энергоемкости систем кондиционирования микроклимата производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений. Снижение энергопотребления и повышение экономичности и экологической безопасности систем обеспечения микроклимата животноводческих зданий, включающих пассивные и активные элементы, возможно только при совместном решении двух взаимосвязанных моделей: архитектурно-планировочной и инженерно-технологической.

Снижение продуктивности животных во времени является аддитивным и кумулятивным эффектами, оцениваемыми обобщенными показателями, комплексно учитывающими основные факторы повышения продуктивности животных (коэффициент эффективности содержания животных $\eta_{ж}$). По физическому смыслу коэффициент $\eta_{ж}$ аналогичен коэффициентам обеспеченности $K_{об}$, используемым в строительной теплофизике и строительной климатологии. Они показывают долю допустимых вероятностных отклонений каких-либо параметров, событий от расчетных и характеризуют выдерживание во времени допустимых параметров.

Авторами в технической и специальной литературе не обнаружено систематизированных, научно обоснованных количественных закономерностей взаимосвязи продуктивности животных от объемно-планировочных и конструктивных решений комплексов (пассивных элементов систем обеспечения параметров микроклимата (СОМ) η^A) и от конкретных отклонений работы систем обеспечения микроклимата от оптимальных или допустимых параметров (активных элементов СОМ η^E). Приводятся лишь конкретные примеры, из



которых трудно выявить значения мастерства архитекторов η^A и инженеров η^E , например, [1].

Практически все исследования по снижению энергоемкости и поддержанию параметров микроклимата указывают на необходимость уменьшения теплового контура здания, сопровождающееся снижением потерь трансмиссионной теплоты. Это положение согласуется с многолетними исследованиями ученых научной школы Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета под руководством д-ра техн. наук, проф. В. И. Бодрова (1941–2020 гг.) [2, 3, 4]. В настоящей статье приводится полученная авторами количественная оценка влияния объемно-планировочных и конструктивных решений зданий на продуктивность животных и энергоемкость СОМ.

Снижение освещенности влияет на животных успокаивающе, сокращает их двигательную активность и потребление корма. Для КРС существуют более низкие требования к освещенности, которые составляют лишь 20–50 % уровня освещенности для людей [5]. Поэтому неоправданным технологическим решением является избыточная естественная освещенность животноводческих типовых помещений, в которых окна достигают 30–40 % площади наружных стен.

Организация естественного освещения животноводческих помещений имеет исключительно важное значение не только по физическому влиянию освещения и солнечной инсоляции на продуктивность скота, но и чисто по экономическим соображениям. Нельзя ограничиваться оценкой остекления только с архитектурной точки зрения, т. к. тепловой, световой и инсоляционные режимы микроклимата помещений тесно взаимосвязаны между собой. Повышение уровня освещенности за счет увеличения площади остекления приводит к значительному увеличению потерь теплоты в холодный период года и увеличению теплоступлений в теплый период, что сопровождается увеличением эксплуатационных затрат.

Следует отметить, что остекление окон, обращенных на солнечную сторону, в зимнее время покрыто, как правило, с внутренней стороны конденсатом и льдом, а окон, обращенных на северную сторону, малопрозрачной снежной изморозью толщиной 5–10 мм. Поэтому окна, обращенные на север, обладают очень низкой светоактивностью.

Эффективность естественного освещения определяется временем его использования в течение года. По графикам наружной освещенности горизонтальной поверхности диффузным светом неба и наружной критической освещенности $E_{кр}$, т. е. освещенности в момент включения или выключения искусственного света, можно определить время использования естественного света.

Критическая освещенность определяется из выражения:

$$E_{кр} = E_{иск} \frac{100}{e_{нор}}, \quad (1)$$

где $E_{иск}$ – нормированная искусственная освещенность помещения, лк; $e_{нор}$ – нормированное значение коэффициента естественного освещения, %.

Для основных стойловых помещений критическая наружная освещенность составляет 5000–12500 лк [6]. Действительная внутренняя освещенность $e_{вн}$ будет ниже нормируемой, что требует в данные месяцы круглосуточного использования искусственного освещения даже при 100 % светопропускании остекления. Действительная продолжительность использования естественного освещения в



помещениях не обеспечивает зоогигиенические требования на уровне 100 лк для взрослого молодняка на откорме в течение 6–8 ч, лактирующих коров – 16–18 ч, телят и ремонтного молодняка – 14–16 ч в сутки [7]. Однако в зимний период содержания продолжительность светового дня не обеспечивает эти требования, что вызывает необходимость практически круглосуточного использования искусственного освещения, а энергетические затраты, как правило, превышают результаты возможного повышения продуктивности скота.

Требуемая естественная освещенность может быть обеспечена только через зенитные светопроемы в плоскости покрытия. Однако в климатических условиях России в животноводческих зданиях с их влажным режимом использование зенитных светопроемов не всегда допустимо из-за низких теплозащитных характеристик, не исключающих образование конденсата на внутренних поверхностях остекления.

Практический интерес представляет анализ ориентации животноводческих зданий с учетом использования естественного света и солнечной инсоляции. Необходимо объемно-планировочными средствами способствовать наибольшей положительности качеств инсоляции и устранению отрицательных ее действий. Для зданий содержания КРС и свиней отсутствуют нормативные требования к инсоляции. Минимум инсоляции, который обеспечивал бы санитарно-гигиенические условия труда рабочих и высокую продуктивность животных, можно нормировать только по условиям, исключающим перегрев помещений в летнее время (при круглогодичном привязном содержании) и обеспечивающим максимальную инсоляцию в зимнее время.

В летнее время наименьшая инсоляция по продолжительности и тепlopоступлениям получается при широтной ориентации, т. е. при расположении оси здания по направлению З–В. Сравнимой с широтной по продолжительности и тепlopоступлениям от инсоляции является диагональная ориентация СВ–ЮЗ или СЗ–ЮВ. В зимнее время наибольшая инсоляция по продолжительности и тепlopоступлениям получается при широтной и диагональной ориентации зданий.

Ориентация зданий для содержания свиней по сторонам света, как правило, меридиальная (продольная ось с севера на юг). Допускаются отклонения в северных широтах до 30°, в южных – до 45°. В пунктах южнее широты 50° разрешается любая ориентация.

На долговечность наружных ограждений (влаго-, морозо-, терmostойкость и стойкость против коррозии) большое влияние оказывают специфические особенности микроклимата животноводческих помещений. При высоких значениях влажности внутреннего воздуха как на внутренних поверхностях, так и в толще ограждений, выпадает конденсат, который впитывается материалом. После насыщения ограждений влагой конденсат продолжительное время сохраняется на их внутренней поверхности. Ограждения, имеющие плотные фактурные слои, за лето не просыхают до равновесной влажности и остаются на зиму переувлажненными. Поэтому влажность материалов ограждений животноводческих зданий в 1,5–2 раза превышает норму. По результатам натурных обследований [7], влажность стен из ячеистых и легких бетонов к концу зимы достигает соответственно 24–30 % и 15–19 %, кирпичных стен – 27,8 %. Это ведет в условиях знакопеременных температурных воздействий к резкому снижению морозостойкости и общей долговечности конструкций [6]. Как



правило, наибольшие разрушения наблюдаются во внутреннем фактурно-защитном слое ограждений: трещины, отслаивание, шелушение и т. п.

Отрицательное влияние загазованности животноводческих помещений на продуктивность животных, бесспорно. Однако недостаточно изученным является фактор влияния агрессивных газов (углекислый газ, хлор, сероводород, аммиак) на долговечность ограждающих конструкций. Газы, растворяясь во влаге ограждающих конструкций, образуют водные растворы в виде различных солей. Над этими растворами происходит понижение давления насыщенного пара, что обусловлено осмотическими свойствами растворов. Повышенная разность давлений над раствором и парциальным давлением водяного пара увеличивает поглощение влаги из воздуха. Установлено, что присутствие хлористых солей в ограждающих конструкциях увеличивает их влажность на 5–7 % даже при нормальном влажностном режиме в помещении.

Водяные пары вместе с молекулами хлоропроизводных, проникая внутрь ограждающих конструкций, взаимодействуют с материалами элементов этих конструкций, вызывая коррозию. Коррозия несущих ограждений охватывает как цементную часть бетона, так и металлическую часть конструкций, что приводит к снижению их прочности и долговечности.

Максимальная скорость коррозии возникает при использовании низкоуглеродистой стали. В монографии [2] приведены данные о снижении несущей способности стальной арматуры железобетонной конструкции и балки двутаврового сечения при температуре 32 °С с учетом факторов газового режима животноводческих помещений в результате коррозии. Очевидно, при применении низкоуглеродистой стали уже через 5–7 лет наступает аварийное состояние несущей способности ограждения, а даже открыто расположенные металлические конструкции из стали Ст3сп, содержащие 0,15–0,22 % углерода, более долговечны и надежны. Полученные данные говорят о необходимости учета качества стали, применяемой для арматуры или металлических конструкций наружных ограждений в животноводческих зданиях с агрессивной газовой средой.

Промышленные условия содержания КРС нарушают естественный стереотип содержания животных. Значительная концентрация животных на ограниченной площади вызывает в их организме реакции адаптации к новым условиям жизнедеятельности, сопровождающиеся дополнительными расходами внутренней энергии, снижением продуктивности и прироста массы, увеличением заболеваемости или даже падежом. Из-за действия стресс-факторов продуктивность животных снижается на 15–20 %, а затраты кормов на единицу продуктивности возрастают на 25–30 % [2]. Поэтому мастерство архитекторов должно базироваться не только на достижениях «профессиональной» архитектуры, но и учитывать опыт «народной архитектуры» при проектировании технико-биологической системы содержания животных, учитывать физиологические и биологические потребности животных.

Мастерство инженеров (η^E) при поддержании допустимых параметров микроклимата оказывает непосредственное влияние на продуктивность животных. Процесс акклиматизации животных сопровождается следующими реакциями по поддержанию температурного равновесия организма: механизмом терморегуляции (теплообразования, теплоотдачи); ускорением обмена веществ; морфологическими изменениями. Домашние животные легче переносят низкие



температуры, чем высокие, что необходимо учитывать в процессе эксплуатации коровников и свинарников.

При низких температурах прием кормов увеличивается, а при высоких температурах снижению удоев предшествует снижение потребления кормов, т. е. при низких температурах необходимо дополнительное кормление животных, несмотря на то, что продуктивность их все же снижается, однако, степень снижения продуктивности КРС в зависимости от значения отрицательной температуры воздуха не выявлена [2]. Отмеченные противоречия влияния низких температур объясняются различной продуктивностью животных, уровнем и качеством их кормления, и способностью к акклиматизации.

Различают два диапазона температур содержания животных: оптимальный и продуктивный. При диапазоне оптимальных температур животные при минимальных затратах кормов и благоприятной теплоотдаче дают максимум продукции. Продуктивным является такой диапазон температур, нарушение которого вызывает снижение продуктивности без ухудшения здоровья животных. Значения температур воздуха в этом диапазоне определяются по тем же зависимостям, что и для оптимального диапазона [2, 4].

Высокая относительная влажность воздуха ϕ_v в сочетании с низкой температурой t_v очень вредна для КРС. Отмечается, что при низких значениях t_v и высокой ϕ_v молочная продуктивность коров снижается на 8...13 %, жирность молока – на 0,3 %. Наиболее отрицательное воздействие оказывает относительная влажность воздуха выше 85 % [8].

В заключение по выполненным исследованиям отметим, что проведенные авторами теплофизические и аэродинамические исследования показали, что без заметного снижения продуктивности в помещениях содержания животных параметры внутреннего воздуха имеется возможность поддерживать только за счет естественных источников энергии: биологической теплоты животных и естественных систем вентиляции. Обязательным условием стабилизации параметров микроклимата в течение года является грамотная эксплуатация систем жизнеобеспечения коровников и свинарников. Эксплуатационные затраты при этом не повышаются, но требуются определенные профессиональные навыки обслуживающего персонала по соблюдению технологических регламентов содержания и выращивания животных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голосов, И. М. Микроклимат животноводческих ферм / И. М. Голосов. – Ленинград : Лениздат, 1974. – 120 с. – Текст : непосредственный.
2. Бодров, М. В. Отопление и вентиляция животноводческих и птицеводческих помещений : монография / М. В. Бодров ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – 145 с. – ISBN 978-5-87941-824-8. – Текст : непосредственный.
3. Бодров, М. В. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий / М. В. Бодров, В. И. Бодров, М. Н. Кучеренко ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2008. – 623 с. – ISBN 978-5-87941-526-1. – Текст : непосредственный.
4. Бодров, В. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных зданий сельхозназначения / В. И. Бодров, Л. М. Махов, Е. В. Троицкая. – Москва : АСВ, 2014. – 237 с. – ISBN 978-5-4323-0025-6. – Текст : непосредственный.



5. Аликаев, В. А. Зоогиена / В. А. Аликаев, В. Ф. Костюнина. – Москва : Колос, 1983. – 239 с. – Текст : непосредственный.
6. Валов, В. М. Энергосберегающие животноводческие здания (Физико-технические основы проектирования) / В. М. Валов. – Москва : АСВ, 1997. – 310 с. – ISBN 5-87829-027-8. – Текст : непосредственный.
7. Юрков, В. М. Влияние света на продуктивность животных / В. М. Юрков. – Москва : Россельхозиздат, 1980. – 125 с. – Текст : непосредственный.
8. Бодров, М. В. Обеспечение теплоустойчивости животноводческих помещений / М. В. Бодров, А. Е. Руин, А. Ф. Юланова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 3. – С. 73–79.

BODROV Mikhail Valerevich, doctor of technical sciences, associate professor, holder of the chair of heating and ventilation; RUIN Aleksey Evgenevich, assistant of the chair of heating and ventilation; YULANOVA Alina Fanilevna, assistant of the chair of heating and ventilation

THE EFFECTIVENESS OF ARCHITECTURAL AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR MICROCLIMATE PARAMETER MANAGEMENT OF LIVESTOCK PREMISES

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-85;
e-mail: tes84@mail.ru

Key words: energy saving, industrial agricultural buildings, illumination, calculated microclimate parameters.

The fundamentals of the formation of effective architectural and engineering technological solutions for managing the calculated parameters of the microclimate of premises for cattle and pig breeding are considered. The bases of the analysis of illumination, temperature and humidity conditions on animal productivity and operational characteristics of livestock complexes are given.

REFERENCES

1. Golosov I. M. Mikroklimat zhivotnovodcheskikh ferm [Microclimate of livestock farms]. Leningrad: Lenizdat, 1974. – 120 p.
2. Bodrov M. V. Otoplenie i ventilyatsiya zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh pomeshcheniy [Heating and ventilation of livestock and poultry facilities] : monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2012. – 145 p. – ISBN 978-5-87941-824-8.
3. Bodrov M. V., Bodrov V. I., Kucherenko M. N. Mikroklimat proizvodstvennykh selskokhozyaystvennykh zdaniy [Microclimate of industrial agricultural buildings]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2008. – 623 p. – ISBN 978-5-87941-526-1.
4. Bodrov V. I., Makhov L. M., Troitskaya E. V. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha proizvodstvennykh zdaniy selkhoznaзначeniya [Heating, ventilation and air conditioning of industrial buildings for agricultural purposes]. Moscow, ASV, 2014. – 237 p. – ISBN 978-5-4323-0025-6.
5. Alikaev V. A, Kostyunina V. F. Zoogiiena [Zoohygiene]. Moscow, Kolos, 1983. – 239 p.



6. Valov V. M. Energosberegayushchie zhivotnovodcheskie zdaniya (Fiziko-tekhnicheskie osnovy proektirovaniya) [Energy-saving livestock buildings (Physical and technical fundamentals of design)]. Moscow, ASV, 1997. – 310 p. – ISBN 5-87829-027-8.

7. Yurkov V. M. Vliyaniye sveta na produktivnost zhivotnykh [The influence of light on animal productivity]. Moscow, Rosselkhozizdat, 1980. – 125 p.

8. Bodrov M. V., Ruin A. E., Yulanova A. F. Obespecheniye teploustoychivosti zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy [Ensuring the thermal stability of livestock premises]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2023. № 3. P. 73–79.

© **М. В. Бодров, А. Ф. Юланова, А. Е. Руин, 2024**

Получено: 03.04.2024 г.