

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.363:636.086.5

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2026_2_68

EDN: ASPZSU

**Обоснование использования экструдированного пенополистирола
в качестве утеплителя кровли для оптимизации микроклимата
в животноводческих помещениях**

Юрий Васильевич Саенко^{1✉}, Владимир Юрьевич Страхов²,
Константин Владимирович Казаков³, Александр Николаевич Крюков⁴

^{1, 2, 3, 4} Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина,
п. Майский, Россия

¹ yuriy311300@mail.ru✉

Аннотация. На продуктивность поголовья скота влияют не только виды кормов, режимы кормления, генетический потенциал животных, но и условия содержания, в частности температура внутри животноводческого помещения. Крупный рогатый скот легче переносит низкую температуру, чем высокую. Для молочных коров нижняя граница оптимальной температуры находится на уровне +8 °С, верхняя – +22 °С. При повышении температуры до +25...+28 °С животные испытывают стресс, меньше потребляют корма, что вызывает снижение продуктивности. В совокупности с высокой влажностью и сквозняками растут риски возникновения заболеваний. Представлена информация по расчету теплового потока, который проникает в животноводческое помещение через крышу. Рассмотрены варианты применения в качестве материала кровли двухслойной полиэтиленовой пленки, металлочерепицы и металлочерепицы с утеплителем из экструдированного пенополистирола, а также определено общее термическое сопротивление анализируемых материалов, равное соответственно 0,26 (м²·°С)/Вт, 0,179 и 3,42 (м²·°С)/Вт. Рассчитаны величины теплового потока, который проходит в животноводческое помещение через крышу площадью 1442 м², которая выполнена по вариантам с использованием исследованных материалов: для кровли из двухслойной полиэтиленовой пленки тепловой поток составил $Q_{\text{ПЛЕН}} = 20611$ Вт, для металлочерепицы такой же площади без использования теплоизоляции – $Q_{\text{МЕТ}} = 77166$ Вт, для металлочерепицы с использованием в качестве теплоизоляции экструдированного пенополистирола – $Q_{\text{МЕТП}} = 4031$ Вт. Определили, что при температуре воздуха окружающей среды $t_2 = +20...+22$ °С температура воздуха в животноводческом помещении составляла по вариантам соответственно $t_{1\text{ПЛЕН}} = +25...+27$ °С, $t_{1\text{МЕТ}} = +30...+32$ °С и $t_{1\text{МЕТП}} = +20...+21$ °С. Показано, что для поддержания температуры воздуха на фермах крупного рогатого скота на уровне допустимого значения +24 °С поверхность металлочерепицы кровли необходимо отделять от внутреннего пространства помещения тепловой изоляцией, выполненной из экструдированного пенополистирола.

Ключевые слова: животноводческое помещение, оптимальная температура окружающей среды, тепловой поток, теплоизоляция, металлочерепица, двухслойная полиэтиленовая пленка, экструдированный пенополистирол

Для цитирования: Саенко Ю.В., Страхов В.Ю., Казаков К.В., Крюков А.Н. Обоснование использования экструдированного пенополистирола в качестве утеплителя кровли для оптимизации микроклимата в животноводческих помещениях // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2026. Т. 19, 2(89). С. 68–78. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2026_2_68-78.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR
AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

**Justification of extruded polystyrene foam usage as roof
insulation to optimize the microclimate in livestock facilities**

Yuri V. Saenko^{1✉}, Vladimir Yu. Strakhov²,
Konstantin V. Kazakov³, Aleksandr N. Kryukov⁴

^{1, 2, 3, 4} Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, Belgorod, Russia

¹ yuriy311300@mail.ru✉

Abstract. Livestock productivity is influenced not only by the types of feed, feeding regimes, and genetic potential of animals, but also by the conditions of animal welfare, in particular, the temperature inside the livestock facility. Cattle tolerate low temperatures more easily than high temperatures. For dairy cows, the lower limit of the optimal temperature is at +8 °С, and the upper limit is +22 °С. When the temperature rises to +25... +28 °С, animals

experience stress and consume less feed, which causes a decrease in productivity. Together with high humidity and drafts, the risks of diseases are increasing. The authors present data on the calculation of the heat flow that penetrates into the livestock building through the roof. The options for using double-layer polyethylene film, metal tile sheets and metal tile sheets with extruded polystyrene foam insulation as roofing materials are considered, and the total thermal resistance of the analyzed materials is determined, equal to 0.26 (m²·°C)/W, 0.179 and 3.42 (m²·°C)/W, respectively. The authors calculated the values of the heat flow that passes into the livestock building through the roof with an area of 1442 m², which is made according to the variants using the studied materials: when a double-layer polyethylene film was used the heat flow was equal to 20611 W, when metal tile sheets of the same area were used without thermal insulation it was 77166 W, and when metal tile sheets were insulated by extruded polystyrene foam the heat flow was 4031 W. The authors also determined that when the environmental air temperature was equal to +20...+22 °C, the inside air temperature according to three variants was +25...+27 °C, +30...+32 °C and +20...+21 °C, respectively. It is shown that in order to maintain the air temperature inside cattle farms at an acceptable value of +24 °C, the surface of the roof designed from metal tile sheets must be separated from the interior of the building by thermal insulation made of extruded polystyrene foam.

Keywords: livestock facility, optimal ambient temperature, heat flow, thermal insulation, metal tile sheets, double-layer polyethylene film, extruded polystyrene foam

For citation: Saenko Yu.V., Strakhov V.Yu., Kazakov K.V., Kryukov A.N. Justification of extruded polystyrene foam usage as roof insulation to optimize the microclimate in livestock facilities. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2026;19(2):68-78. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2026_2_68-78.

Введение

Молочная продуктивность коров определяется не только видами кормов, режимами кормления, генетическим потенциалом животных, но и условиями содержания, в частности температурой внутри животноводческого помещения [1, 2]. Микроклимат в помещении – это комплекс физических факторов окружающей среды (температура, скорость движения, влажность, химический состав воздуха), оказывающих влияние на тепловой обмен организма поголовья.

Оптимальная температура воздуха в животноводческом помещении способствует более полной реализации генетического потенциала животных, профилактике заболеваний, повышению естественной резистентности [4, 5]. Крупный рогатый скот легче переносит низкую температуру, чем высокую [10, 11].

В летнее время для охлаждения воздуха в помещении применяют искусственную вентиляцию, когда скорость движения воздуха над уровнем животного составляет 0,8–1,2 м/с [15, 16]. Установлено, что для молочных коров нижняя граница оптимальной температуры находится на уровне +8 °C, верхняя – +20 °C. При повышении температуры до +25...+28 °C животные испытывают стресс, меньше потребляют корма, что вызывает снижение продуктивности. В совокупности с высокой влажностью и сквозняками растут риски возникновения заболеваний.

В помещение тепло попадает за счет солнечного излучения следующими способами: посредством нагрева стен (10–20%), кровли (50–70%) с дальнейшим прогревом воздуха внутри помещения, через окна и остекленные проемы (20–30%). Кроме этого, в окружающую среду поступает тепло животных, которые находятся в помещении [4, 7, 8, 21, 23].

Конструкция стен в большинстве вариантов выполнена из кирпича, блоков, бетона или, если помещение каркасное, то применяют рулонные шторы. В предложенном расчете рассматриваем поступление тепловой энергии в помещение через кровлю. При выполнении расчета учитываем наиболее часто используемые кровельные материалы коровников, такие как полиэтиленовая пленка, металлочерепица без утеплителя и металлочерепица с утеплителем из экструдированного пенополистирола [10, 11].

Полиэтиленовая пленка характеризуется хорошим пропусканием света, поэтому животные, которые находятся в помещении, получают ультрафиолет, а это предотвращает заболевание рахитом [11, 16].

На рисунке 1 представлена каркасно-тентовая животноводческая ферма, покрытие которой выполнено из двухслойной полиэтиленовой пленки.



Рис. 1. Каркасно-тентовая животноводческая ферма, покрытие которой выполнено из двухслойной полиэтиленовой пленки

Металлочерепица отличается высокими прочностными показателями по отношению к механическому воздействию, воздействию ультрафиолета, длительным сроком службы, поэтому правильно смонтированная кровля долгие годы будет выполнять свои функции, не требуя затрат на ремонт.

На рисунке 2 представлена животноводческая ферма, в которой крыша выполнена из металлочерепицы.

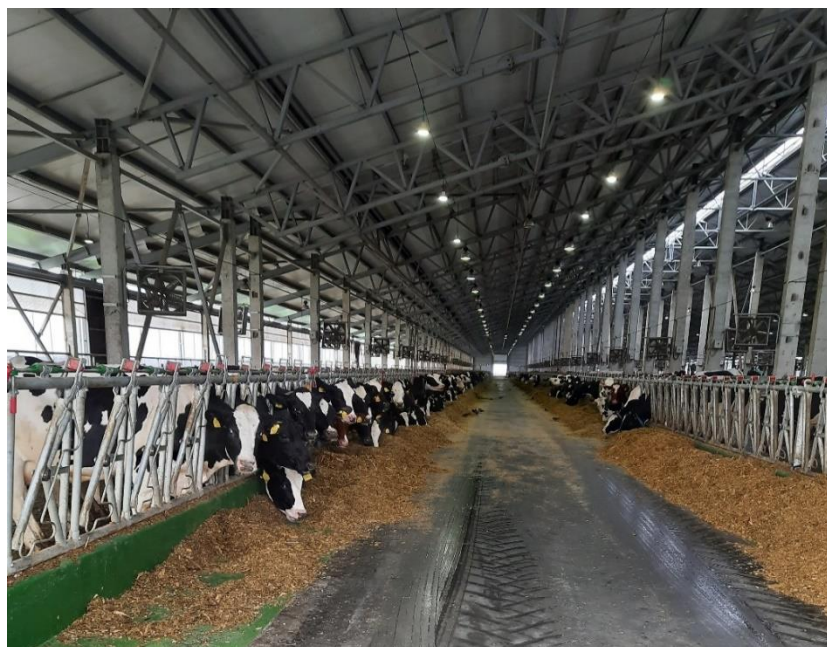


Рис. 2. Крыша животноводческого помещения, выполненная из металлочерепицы

Цель проведенного исследования заключалась в обосновании возможности снижения температуры воздуха внутри животноводческого помещения летом за счет использования в качестве теплоизоляции экструдированного пенополистирола.

Методика исследования

Исследования проводили в колхозе имени В.Я. Горина Белгородского района Белгородской области, ГК «Зелёная Долина» Корочанского района Белгородской области, ИП глава К(Ф)Х Бобылев В.Г. Ивнянского района Белгородской области.

Для определения скорости движения и температуры воздуха внутри и снаружи помещения коровника использовали анемометр-термометр AeroTemp 30. Температуру кровли и утеплителя из экструдированного пенополистирола определяли при помощи электронного термометра Termotester 330, линейные размеры помещений – при помощи рулетки P50Y3K.

Измерения температуры, скорости движения воздуха, температуры поверхности кровли и утеплителя были проведены в трехкратной повторности. В расчетах использованы средние значения указанных показателей.

В качестве исходных данных были приняты следующие размеры животноводческого помещения – $105 \times 15 \times 4$ м, высота конька – 7 м.

В соответствии с программой эксперименты проводили по трем вариантам выполнения кровли коровника из следующих материалов:

- 1) пленка полиэтиленовая двухслойная;
- 2) металлочерепица;
- 3) металлочерепица с утеплителем из экструдированного пенополистирола.

Расчет объема помещения для содержания животных. Общий объем помещения можно представить как сумму нижней части прямоугольного параллелепипеда и верхней части – цилиндрического клина.

Определим объем помещения для содержания животных по формуле (1)

$$V_{\text{НИЗ}} = a \cdot b \cdot L, \quad (1)$$

где a – высота помещения, м;

b – ширина помещения, м;

L – длина помещения, м.

Площадь сектора фасада определим по формуле

$$S_{\text{СЕК}} = \frac{r^2}{2} \left(\frac{\pi}{180^\circ} \alpha - \sin \alpha \right), \quad (2)$$

где α – центральный угол, град;

r – радиус круга, м.

Объем крыши определим по формуле

$$V_{\text{ВЕРХ}} = S_{\text{СЕК}} \cdot L. \quad (3)$$

Общий объем помещения рассчитаем из уравнения (4)

$$V_{\text{ПОЛН}} = V_{\text{НИЗ}} + V_{\text{ВЕРХ}}. \quad (4)$$

На рисунке 3 представлены схемы распределения тепловой энергии с учетом различного вида кровли.

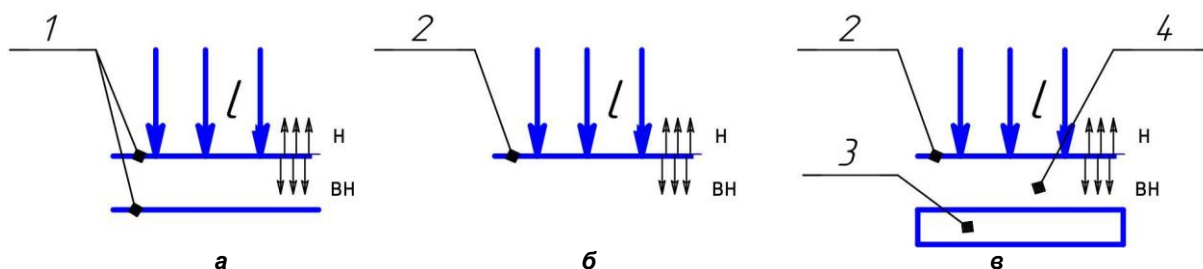


Рис. 3. Распределение тепловой энергии по трем исследуемым вариантам выполнения кровли: 1 – пленка полиэтиленовая; 2 – металлочерепица; 3 – утеплитель; 4 – воздушный зазор; а – двухслойная полиэтиленовая пленка; б – металлочерепица; в – металлочерепица с утеплителем из экструдированного пенополистирола; α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности кровли, Вт/(м²·°C); $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи внутри помещения, Вт/(м²·°C)

Тепловая энергия, которая поступила от солнца на кровельный материал, может быть записана как сумма энергии, уходящей в атмосферу, и энергии, идущей в помещение. Уравнение теплового баланса можно записать в следующем виде [3, 7, 8, 9]:

$$Q_{\text{погл}} = Q_{\text{атм}} + Q_{\text{внутр}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{атм}}$ – тепловая энергия, уходящая в атмосферу, Дж;

$Q_{\text{внутр}}$ – тепловая энергия, уходящая в помещение, Дж.

Долю тепловой энергии, которая поступит в атмосферу, определим, используя формулу (6):

$$Q_{\text{атм}\%} = \frac{\alpha_{\text{н}}}{\alpha_{\text{н}} + \alpha_{\text{вн}}}, \quad (6)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности кровли (в атмосферу), Вт/(м²·°C);

$\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности кровли внутрь помещения, Вт/(м²·°C).

Долю тепловой энергии, которая поступит внутрь помещения, определим по уравнению (7):

$$Q_{\text{внутр}\%} = \frac{\alpha_{\text{вн}}}{\alpha_{\text{н}} + \alpha_{\text{вн}}}, \quad (7)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности кровли (в атмосферу), Вт/(м²·°C);

$\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности кровли внутрь помещения, Вт/(м²·°C).

Тепловая энергия, которая поступила на поверхность кровельного материала, распределилась в следующем соотношении: 63% направлено в атмосферу излучением и конвективным способом, 37% – внутрь помещения [15, 17]. Можно отметить, что около третьей части теплоты, которая попадает на поверхность кровли, направлено внутрь помещения. Указанное соотношение справедливо для варианта, если поверхность кровли окрашена в светлый цвет. Но необходимо отметить, что около половины тепловой энергии, поступившей в помещение, уходит в атмосферу через продольное отверстие в коньке или через вертикальные вытяжные каналы, которые расположены в кровле [5, 6].

На величину тепловой энергии, которая поступает внутрь помещения, влияет наличие ветра. С увеличением скорости ветра количество поступающей тепловой энергии снижается [12, 13, 14].

Полный объем животноводческого помещения равен $V_{\text{полн}} = 9555 \text{ м}^3$. Предположим, что максимальная кратность естественного воздухообмена в теплое время года равна 2, тогда объем воздуха, выходящего из помещения, составит 19 110 м³/ч, или 5,308 м³/сек. Плотность воздуха при +20 °C $\rho = 1,204 \text{ кг/м}^3$, поэтому массовая секундная теплоотдача воздуха из помещения составит $q_1 = 6,39 \text{ кг/сек}$ [18, 20, 21, 22].

Для определения количества теплоты с целью нагрева воздуха в помещении применим следующее выражение [14, 19]:

$$Q_{\text{п}} = q_1 \cdot C_{\text{п}} (t_1 - t_2), \quad (8)$$

где q_1 – подача воздуха внутри помещения, кг/сек;

$C_{\text{п}}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°C);

t_1 – конечная температура воздуха, °C;

t_2 – начальная температура воздуха, °C.

С учетом значения коэффициента тепловой энергии, которая поступает внутрь помещения, конечную температуру воздуха в помещении определим с помощью уравнения (9) [21]:

$$t_1 = \frac{Q_{\text{п}} \cdot Q_{\text{внутр}\%}}{m_1 \cdot C_{\text{п}}} + t_2. \quad (9)$$

Температуру поверхности крыши, которая выполнена из двухслойной полиэтиленовой пленки и металлочерепицы, определим, применив выражение

$$t = t_{\text{НАР}} + (\rho \cdot l) / \alpha_{\text{Н}}, \quad (10)$$

где $t_{\text{НАР}}$ – температура наружного воздуха в тени, °С;

ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации для материалов кровли;

l – максимальная интенсивность солнечной радиации на поверхность кровли, Вт/м²;

$\alpha_{\text{Н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности кровли, Вт/(м²·°С).

Принципиальная разница между крышей, выполненной из полиэтиленовой пленки, и крышей из металлочерепицы состоит в том, что полиэтиленовая пленка имеет низкий коэффициент поглощения инфракрасного излучения, поэтому его пропускает. В результате инфракрасное излучение, проходя сквозь полиэтиленовую пленку, нагревает предметы и поверхности внутри помещения, которые, в свою очередь, отдают тепло в окружающую среду и нагревают воздух внутри помещения. Металлочерепица, наоборот, обладает высоким коэффициентом поглощения инфракрасного излучения, нагревается сама, а затем постепенно отдает тепло внутрь помещения и нагревает воздух.

Коэффициент теплоотдачи учитывает теплообмен между поверхностью кровли и наружным воздухом. Указанный процесс происходит за счет теплоотдачи конвекцией и излучением.

Определим разницу температуры между поверхностью крыши и необходимой температурой внутри помещения:

$$\Delta t = t - t_{\text{ОПТ}}, \quad (11)$$

где t – температура нагрева поверхности крыши, °С;

$t_{\text{ОПТ}}$ – оптимальная температура внутри помещения, °С.

Общее термическое сопротивление полиэтиленовой пленки определим по выражению

$$R_{\text{ПЛЕН}} = \frac{1}{\alpha_{\text{Н}}} + R_{\text{ВОЗ}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ВН}}}, \quad (12)$$

где $\alpha_{\text{Н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности полиэтиленовой пленки, Вт/(м²·°С);

$R_{\text{ВОЗ}}$ – тепловой поток для горизонтального воздушного зазора, Вт/(м²·°С);

$\alpha_{\text{ВН}}$ – коэффициент теплообмена внутри помещения, Вт/(м²·°С).

Выполним расчет коэффициента теплопередачи:

$$k = \frac{1}{R_{\text{ПЛЕН}}}. \quad (13)$$

Для определения теплового потока, который поступает в животноводческое помещение через крышу, можно применить выражение

$$Q_{\text{ПЛЕН}} = S \cdot k \cdot \Delta t, \quad (14)$$

где S – площадь крыши пленки, м²;

k – коэффициент теплопередачи пленки, Вт/(м²·°С);

Δt – разница между температурой поверхности крыши и температурой, необходимой внутри помещения, °С.

Если под крышей не будет утеплителя, то будет происходить нагрев металлочерепицы и последующий нагрев воздуха в животноводческом помещении [6, 15, 18].

Общее термическое сопротивление металлочерепицы определим по выражению

$$R_{\text{МЕТ}} = \frac{1}{\alpha_{\text{Н}}} + R_{\text{ВОЗ}2} + \frac{1}{\alpha_{\text{ВН}}}, \quad (15)$$

где $\alpha_{\text{Н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности кровли, Вт/(м²·°С);

$\alpha_{\text{ВН}}$ – коэффициент теплообмена внутри помещения, Вт/(м²·°С);

$R_{\text{ВОЗ}2}$ – тепловой поток, который уходит под конек или в вытяжные каналы, Вт/(м²·°С).

Выполним расчет коэффициента теплопередачи:

$$k = \frac{1}{R_{\text{МЕТ}}} . \quad (16)$$

Для определения теплового потока, который поступает в животноводческое помещение через крышу из металлочерепицы, можно применить следующее выражение:

$$Q_{\text{МЕТ}} = S \cdot k \cdot \Delta t, \quad (17)$$

где S – площадь крыши из металлочерепицы, м^2 ;

k – коэффициент теплопередачи металлочерепицы, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

Δt – разница между температурой поверхности крыши и температурой, необходимой внутри помещения, $^\circ\text{C}$.

По результатам выполненных расчетов можем отметить, что полиэтиленовая пленка и металлочерепица не обладают достаточными теплоизоляционными свойствами. Их теплоизоляция сводится к значениям коэффициентов теплоотдачи наружной поверхности, а сопротивление передаче тепла незначительно мало. Основное их назначение – это защита от ветра и осадков. Без утеплителя коэффициент теплопроводности металлочерепицы λ будет определяться в основном конвекцией и излучением.

Общее термическое сопротивление металлочерепицы, снабженной утеплителем из экструдированного пенополистирола, определим по выражению

$$R_{\text{МЕТ П}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \sum \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}, \quad (18)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности кровли, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплообмена внутри помещения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

δ_i – толщина теплоизоляционного слоя, м ;

λ_i – теплопроводность утеплителя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Выполним расчет коэффициента теплопередачи:

$$k = \frac{1}{R_{\text{МЕТ П}}} . \quad (19)$$

Для определения теплового потока, который поступает в животноводческое помещение через крышу из металлочерепицы с утеплителем из экструдированного пенополистирола, можем применить выражение

$$Q_{\text{МЕТ П}} = S \cdot k \cdot \Delta t, \quad (20)$$

где S – площадь крыши, м^2 ;

k – коэффициент теплопередачи экструдированного пенополистирола, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

Δt – разница температур поверхности крыши снаружи и внутри, $^\circ\text{C}$.

Результаты и их обсуждение

По сравнению с первым вариантом (когда полностью отсутствует теплоизоляция), применяя теплоизоляцию, можно добиться существенного снижения теплопередачи внутрь помещения – до 10 раз. В летнее время года это позволит создать поголовью более благоприятные условия нахождения в помещении.

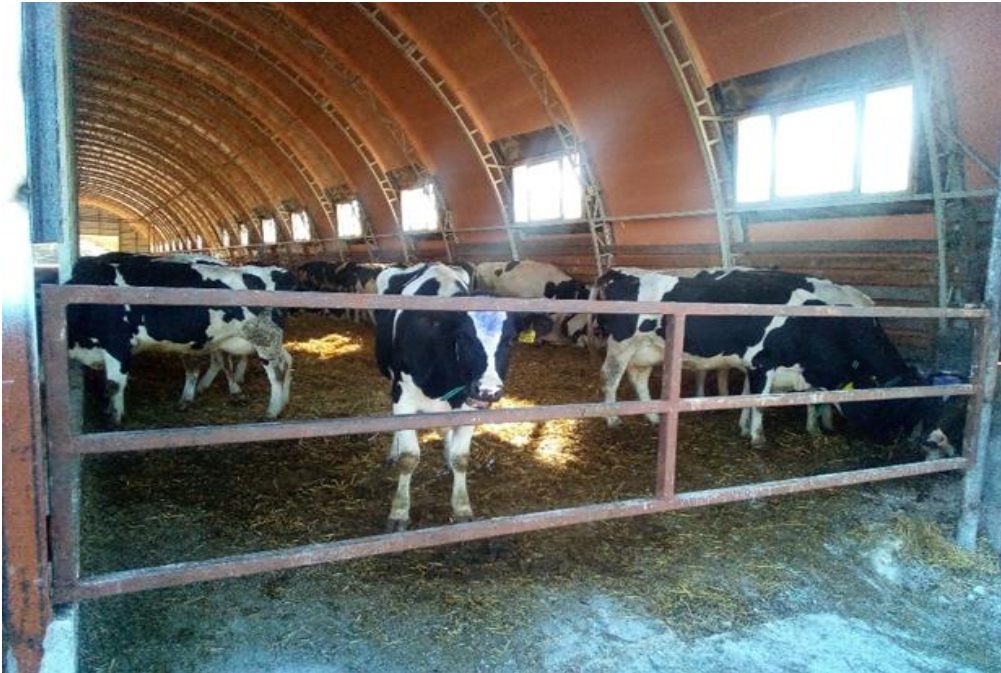
Результаты расчета представлены в таблице.

Результаты проведенного расчета

Материал крыши	Общее термическое сопротивление, R , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	Коэффициент теплопередачи, k , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	Тепловой поток, который поступает в животноводческое помещение, Q , Вт	Температура воздуха в помещении, t_1 , $^\circ\text{C}$
Пленка полиэтиленовая двухслойная	0,26	3,85	20 611	25–27
Металлочерепица	0,179	5,59	77 166	30–32
Металлочерепица с утеплителем из экструдированного пенополистирола	3,42	0,292	4 031	20–21

Проведенные расчеты показали, что наименьшие значения коэффициента теплопередачи $k = 0,285 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ и теплового потока $Q = 6845,7 \text{ Вт}$ наблюдаются при применении металлочерепицы с утеплителем из экструдированного пенополистирола. Следовательно, указанный вариант практического выполнения крыши эффективнее двух других будет препятствовать чрезмерному прогреву воздуха внутри помещения в летнее время.

На рисунке 4 представлены животноводческие помещения для содержания крупного рогатого скота, в которых для теплоизоляции крыши, выполненной из металлочерепицы, использовали экструдированный пенополистирол.



а



б

Рис. 4. Животноводческое помещение, в котором для теплоизоляции использован экструдированный пенополистирол: а – вариант размещения изоляции на внутренней поверхности боковых стенок; б – вариант размещения изоляции под металлической крышей

Заключение

Металлочерепица – наиболее прочный, долговечный материал, устойчивый к механическим воздействиям и ультрафиолету, который используют для кровли, не является препятствием для поступления тепла в помещение. Утеплитель служит основным препятствием на пути проникновения теплового излучения в помещение. По результатам проведенного исследования для теплоизоляции кровли на фермах можно рекомендовать применять экструдированный пенополистирол. Также в центре кровли необходимо установить вентилируемый конек или вытяжные шахты, через которые теплый воздух будет уходить в окружающую среду.

В результате выполненного расчета установлены величины теплового потока, который проходит в животноводческое помещение через крышу площадью $S = 1442 \text{ м}^2$, по трем вариантам выполнения кровли:

- из двухслойной полиэтиленовой пленки – $Q_{\text{ПЛЕН}} = 20611 \text{ Вт}$;
- из металлочерепицы без использования теплоизоляции – $Q_{\text{МЕТ}} = 77166 \text{ Вт}$;
- из металлочерепицы с использованием в качестве теплоизоляции экструдированного пенополистирола – $Q_{\text{МЕТП}} = 4031 \text{ Вт}$.

Установлено, что при температуре воздуха окружающей среды $+20...+22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ температура воздуха в животноводческом помещении по трем исследованным вариантам выполнения кровли составит соответственно $+25...+27 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $+30...+32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+20...+21 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

На фермах крупного рогатого скота стены выполняют из бетона, кирпича или помещение делают в виде каркаса, который закрывают шторами [11, 12, 20]. Чаще всего крышу выполняют из двухслойной полиэтиленовой пленки (в бюджетном исполнении) или из металлочерепицы. Основная функция двухслойной полиэтиленовой пленки – создание воздушного пространства между слоями, которое является хорошим теплоизолятором [6, 7, 9]. Полиэтиленовая пленка характеризуется низкими прочностными свойствами, что особенно проявляется при воздействии на нее снеговой нагрузки. Также под воздействием ультрафиолета пленка быстро разрушается, поэтому низкая стоимость такой кровли при возведении сооружения нивелируется необходимостью в регулярной замене пленки.

Большое распространение получило применение металлочерепицы. Такой материал отличается высокими показателями прочности, устойчив к снеговым нагрузкам и обладает большим эксплуатационным ресурсом. Однако физические свойства металлочерепицы таковы, что летом происходит нагрев материала, а затем последующая передача тепла внутрь животноводческой фермы. В результате этого внутри (в нижней части помещения) температура поднимается до $+27...+29 \text{ }^{\circ}\text{C}$, что оказывает отрицательное влияние на состояние здоровья животных, показатели продуктивности [11, 16].

Для поддержания температуры воздуха на фермах крупного рогатого скота на уровне допустимого значения $+24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ необходимо, чтобы поверхность металлочерепицы была отделена тепловой изоляцией от внутреннего пространства помещения. Для этого с внутренней стороны крыши необходимо применить в качестве теплоизоляции экструдированный пенополистирол.

Список источников

1. Абрамкина Д.В. Организация естественной вентиляции коровника беспривязного содержания // Аграрный научный журнал. 2022. № 10. С. 97–99. DOI: 10.28983/asj.y2022i10pp97-99.
2. Абрамкина Д.В. Оценка возможности применения щелевого проветривания коровника облученной конструкции в теплый период года // Аграрный научный журнал. 2021. № 1. С. 68–70. DOI: 10.28983/asj.y2021i1pp68-70.
3. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Окунев А.Ф. Сушилка пророщенного зерна // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 1(41) С. 71–75. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-71.

4. Иванов Ю.Г., Борулько В.Г., Андреев С.А. Комбинированная система управления местной вентиляцией в животноводческом помещении // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24, № 6. С. 9–14. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-9-14.
5. Иванов Ю.А., Борулько В.Г., Иванов Ю.Г. Организация системы вентиляции с водоиспарительным охлаждением для производственных зон коровника // *Техника и технологии в животноводстве*. 2024. Т. 14, № 4. С. 31–36. DOI: 10.22314/27132064-2024-14-4-31.
6. Иванов Ю.Г., Борулько В.Г., Понизовкин Д.А. Устройство местной принудительной вентиляции коровника для теплого времени года // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2016. Т. 3, № 73. С. 23–28.
7. Игнаткин И.Ю., Прокофьев М.М., Щеголихина Т.А. Разработка и испытание автоматизированного модульного охладителя-дезинфектора для систем управления микроклиматом в свиноводстве // *Техника и оборудование для села*. 2025. № 8(338). С. 28–33. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-8-28-33.
8. Игнаткин И.Ю., Шевкун Н.А., Архипцев А.В. Об особенностях организации реверсивного оттаивания в рекуператорах теплоты вытяжного воздуха // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24, № 6. С. 15–19. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-15-19.
9. Игнаткин И.Ю., Шевкун Н.А., Серов Н.В. Испытание рекуператора теплоты в СК «Хвалынский» // *Техника и оборудование для села*. 2025. № 1(331). С. 11–15. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-1-11-15.
10. Кузнецов А.Ф., Стекольников А.А., Алемайкин И.Д. Крупный рогатый скот: содержание, кормление, болезни: диагностика и лечение: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 752 с.
11. Кулиев Р.С. Экспериментальная система микроклимата для коровника // *Аграрная наука*. 2014. № 5. С. 25–26.
12. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х. Эффективность сушки аэродинамического подогрева с комбинированным теплообменником // *Инновационная техника и технология*. 2020. № 3(24). С. 29–36.
13. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. и др. Сушилка аэродинамического нагрева модульного типа // *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2022. № 1(21). С. 218–222.
14. Купреенко А.И., Комогорцев В.Ф., Исаев Х.М. и др. Тепловой баланс комбинированного теплообменника сушки аэродинамического подогрева // *Агроинженерия*. 2020. № 6(100). С. 66–73. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-66-73.
15. Мамедов Э.С. Оценка теплообеспечения помещения для содержания животных // *Аграрная наука*. 2014. № 4. С. 30–32.
16. Мустафин Р.З., Герасименко В.В., Мустафина А.С. Правила содержания сельскохозяйственных животных на фермах: учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2024. 96 с.
17. Петров А.М. Применение тепловых насосов для обогрева животноводческих помещений // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2012. № 3(19). С. 122–125.
18. Рудобашта С.П., Русаков М.А. Рекуперация теплоты воздуха, удаляемого из животноводческого помещения // *Техника и технологии в животноводстве*. 2024. Т. 14, № 3. С. 15–21. DOI: 10.22314/27132064-2024-3-15.
19. Саенко Ю.В., Байрамов Р.З. Установка для сушки пророщенного зерна // *Техника и технологии в животноводстве*, 2023. № 4(52). С. 91–96.
20. Скляр А.В., Попов В.А. Особенности регулировки минимального уровня вентиляции в птичниках в холодный период года // *Птицеводство* 2024. № 12. С. 61–65. DOI: 10.33845/0033-3239-2024-73-12-61-65.
21. Ужик В.Ф., Чехунов О.А., Саенко Ю.В. Поиск инженерных решений по поддержанию оптимальной температуры в коровниках с прозрачной крышей // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2018. № 2(30). С. 34–39.
22. Хлыстунов В.Ф., Брагинец С.В., Токарева А.Н. Определение рационального количества теплоутилизаторов для коровника на 400 голов // *Вестник Донского государственного технического университета*. 2018. Т. 18, № 1. С. 102–109. DOI: 10.23947/1992-5980-2018-18-1-102-109.
23. Campbell J. Cattle housing and ventilation. Technical Note TN689 // Farm Advisory Service (Technical Note was funded by the Scottish Government as part of its Farm Advisory Service). URL: <https://www.fas.scot/downloads/technical-note-tn689-cattle-housing-ventilation/>.

References

1. Abramkina D.V. Organization of natural ventilation of loose-housing barn. *Agrarian Scientific Journal*. 2022;10:97-99. DOI: 10.28983/asj.y2022i10pp97-99. (In Russ.).
2. Abramkina D.V. Evaluation of the possibility of application of slit ventilation of a lightweight cowshed in the warm period of the year. *Agrarian Scientific Journal*. 2021;1:68-70. DOI: 10.28983/asj.y2021i1pp68-70. (In Russ.).
3. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Okunev A.F. Sprouted grain dryer. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021;1:71-75. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-71. (In Russ.).
4. Ivanov Yu.G., Borulko V.G., Andreev S.A. Combined local ventilation control system for livestock house. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(6):9-14. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-9-14. (In Russ.).
5. Ivanov Yu.A., Borulko V.G., Ivanov Yu.G. Organization of a ventilation system with evaporative cooling for cowshed's producing areas. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2024;14(4):31-36. DOI: 10.22314/27132064-2024-14-4-31. (In Russ.).

6. Ivanov Yu.G., Borulko V.G., Ponizovkin D.A. Local forced cowshed ventilation in warm seasons. *Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin"*. 2016;3(73):23-28. (In Russ.).
7. Ignatkin I.Yu., Prokofiev M.M., Shchegolikhina T.A. Development and testing of an automated modular cooler-disinfector for the microclimate control systems in pig farming. *Machinery and Equipment for Rural Areas*. 2025; 8: 28-33. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-8-28-33. (In Russ.).
8. Ignatkin I.Yu., Shevkun N.A., Arkhiptsev A.V. On the peculiarities of organizing reverse defrosting in exhaust air heat recuperators. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(6):15-19. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-6-15-19. (In Russ.).
9. Ignatkin I.Yu., Shevkun N.A., Serov N.V. Testing of the Recuperative Heat Exchanger in SK "Khvalynsky". *Machinery and Equipment for Rural Areas*. 2025;1:11-15. DOI: 10.33267/2072-9642-2025-1-11-15. (In Russ.).
10. Kuznetsov A.F., Stekolnikov A.A., Alemaikin I.D. Cattle: maintenance, feeding, diseases: diagnosis and treatment: textbook for universities. St. Petersburg: Lan' Publishers; 2021. 752 p. (In Russ.).
11. Kuliev R.S. Experimental system of microclimate for cows premises. *Agrarian Science*. 2014;5:25-26. (In Russ.).
12. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Isaev S.Kh. Efficiency of the aerodynamic dryer heated with a combined heat exchanger. *Innovative Machinery and Technology*. 2020;3(24):29-36. (In Russ.).
13. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhaylichenko S.M. et al. Modular type aerodynamic heating dryer. *Designing, use and reliability of agricultural machinery*. 2022;1(21):218-222. (In Russ.).
14. Kupreenko A.I., Komogortsev V.F., Isaev Kh.M. et al. Heat balance of combined heat exchanger used in aerodynamic heating dryers. *Agricultural Engineering*. 2020;6(100):66-73. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-6-66-73. (In Russ.).
15. Mamedov E.S. Evaluation of heat supply of animals premises. *Agrarian Science*. 2014;4:30-32. (In Russ.).
16. Mustafin R.Z., Gerasimenko V.V., Mustafina A.S. Rules of keeping farm animals on farms: study guide. Orenburg: Orenburg State Agrarian University Publishers; 2024. 96 p. (In Russ.).
17. Petrov A.M. Application of heat pumps for heating livestock buildings. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2012;3:122-125. (In Russ.).
18. Rudobashta S.P., Rusakov M.A. Heat recovery from the air livestock premises removing. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2024;14(3):15-21. DOI: 10.22314/27132064-2024-3-15. (In Russ.).
19. Saenko Yu.V., Bayramov R.Z. Installation for sprouted grain's drying. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2023;4(52):91-96. (In Russ.).
20. Sklyar A.V., Popov V.A. Adjusting the minimal ventilation level in poultry houses during the cold season. *Pitsevodstvo*. 2024;12:61-65. DOI: 10.33845/0033-3239-2024-73-12-61-65. (In Russ.).
21. Uzhik V.F., Chekhunov O.A., Saenko Yu.V. The engineering solutions on optimum temperature search in the cowbarns with a transparent roof. *Vestnik of the All-Russian Scientific Research Institute of Livestock Production Engineering*. 2018;2:34-39. (In Russ.).
22. Khlystunov V.F., Braginets S.V., Tokareva A.N. Determination of rational number of heat recovery units for the barn for 400 heads. *Vestnik of Don State Technical University*. 2018;1:102-109. DOI: 10.23947/1992-5980-2018-18-1-102-109. (In Russ.).
23. Campbell J. Cattle housing and ventilation. Technical Note TN689. *Farm Advisory Service* (Technical Note was funded by the Scottish Government as part of its Farm Advisory Service). URL: <https://www.fas.scot/downloads/technical-note-tn689-cattle-housing-ventilation/>.

Информация об авторах

Ю.В. Саенко – доктор технических наук, профессор инженерного факультета, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», yuriy311300@mail.ru.
В.Ю. Страхов – кандидат технических наук, доцент инженерного факультета ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», strakhov_vy@belgau.ru.
К.В. Казаков – кандидат технических наук, доцент, доцент инженерного факультета, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», kazakov_kv@belgau.ru.
А.Н. Крюков – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент агрономического факультета ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», kryukov_an@belgau.ru.

Information about the authors

Yu.V. Saenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Faculty of Engineering, Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, yuriy311300@mail.ru.
V.Yu. Strakhov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Faculty of Engineering, Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, strakhov_vy@belgau.ru.
K.V. Kazakov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Faculty of Engineering, Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, kazakov_kv@belgau.ru.
A.N. Kryukov, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Faculty of Agronomy, Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorinkryukov_an@belgau.ru.

Статья поступила в редакцию 10.03.2026; одобрена после рецензирования 15.04.2026; принята к публикации 20.04.2026.

The article was submitted 10.03.2026; approved after reviewing 15.04.2026; accepted for publication 20.04.2026.

© Саенко Ю.В., Страхов В.Ю., Казаков К.В., Крюков А.Н., 2026