

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ ЗДАНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

КЛОЧКО Алексей Константинович, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ЖИЛА Виктор Андреевич, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

При обеспечении требуемого температурного режима в строениях сельскохозяйственного назначения, а также административных зданиях при сельском хозяйстве часто возникает вопрос оценки эффективности принятия решений о снижении затрат на отопление. В статье представлены рекомендации для оценки эффективности принятия таких решений путем увеличения теплозащитных свойств зданий и строений для предприятий сельскохозяйственного назначения. Рассматриваются способы получения предприятием энергии от различных источников.

Введение. Обеспечение требуемого температурного режима в строениях предприятий сельского хозяйства носит обязательный технологический характер или этого требуют санитарно-гигиенические требования для помещений как с постоянным, так и с временным пребыванием людей [2]. Поддержание требуемых значений температур в помещениях достигается инженерными системами отопления и вентиляции. Одним из путей снижения потребления энергии зданием является снижение его тепловых потерь [6]. Для упрощения принятия решения о необходимости дополнительного утепления наружных ограждений необходимо иметь простой и понятный алгоритм расчета экономической эффективности планируемых мероприятий.

Методика исследований. Система отопления служит для компенсации тепловых потерь через наружные ограждения, обеспечивает нагрев инфильтрующегося наружного воздуха, а в ряде случаев производит нагрев наружного воздуха, необходимого для вентиляции помещений [4]. Мощность системы отопления определяется по формуле

$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инф/вент}} \pm Q_{\text{тех/быт}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{огр}}$ – потери тепловой энергии через наружные ограждения здания; $Q_{\text{инф/вент}}$ – требуемая мощность на нагрев воздуха, поступающегося при инфильтрации или проветривании; $Q_{\text{тех}}$ – энергия выделяющаяся или потребляемая в по-

мещении при осуществлении технологических процессов.

В работе будем рассматривать только первое слагаемое из правой части уравнения ввиду отсутствия ярко выраженной зависимости от схем организации инженерных систем отопления и вентиляции.

Процесс потери энергии через наружные ограждения обусловлен теплопередачей (переносом тепловой энергии от нагретого внутреннего воздуха к холодному наружному воздуху). Уравнение для определения тепловых потерь выглядит следующим образом [1, 3–5]:

$$Q = Q_{\text{огр}} = \frac{1}{R_k} F (t_{\text{вн}} - t_{\text{н.п}}^{\text{оп}}) n, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где $t_{\text{вн}}$ – температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н.п}}^{\text{оп}}$ – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$, равная температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 [8]; R – термическое сопротивление теплопередаче ($\frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$); F – площадь ограждения [7], м^2 ; n – коэффициент, учитывающий фактическое понижение расчетной разности температуры (в случае отсутствия данных принимать равным 1).

В свою очередь термическое сопротивление теплопередаче R_k определяется как сумма локальных последовательно расположенных термических сопротивлений (термических сопротивлений теплоотдаче и термических сопротивлений теплопроводности). Формулу для определения термическо-



го сопротивления теплопередаче приведем ниже:

$$R_k = R_{\alpha 1} + R_{\lambda 1} + \dots + R_{\alpha 2} = \\ = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{1}{\alpha_2}, \frac{m^2 K}{Bt}, \quad (3)$$

где R_{α} – термическое сопротивление теплоотдачи, $R_{\alpha} = \frac{1}{\alpha}$; R_{λ} – термическое сопротивление теплопроводности, $R_{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda}$; α – коэффициент теплоотдачи, $\frac{Bt}{m^2 \cdot K}$; δ – толщина слоя наружной стены, м; λ – теплопроводность материала, $\frac{Bt}{m \cdot K}$.

В случае необходимости определения снижения потребления энергии на компенсацию тепловых потерь через наружные ограждения здания, когда речь идет о дополнительном утеплении стены путем добавления новых слоев в конструкцию стены или замены старого материала тепловой изоляции на новый. Необходимо определить изменение сопротивления теплопередачи соответствующей ограждающей конструкции по уравнению:

$$\Delta R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \sum_{j=1}^k \frac{\delta_j}{\lambda_j}, \frac{m^2 K}{Bt}, \quad (4)$$

где ΔR – изменение термического сопротивления теплоотдачи, $\frac{m^2 K}{Bt}$; индекс « i » относится к слоям, добавляемым в конструкцию наружного ограждения, а индекс « j » – вычитаемым из нее.

Тогда мы можем получить высвобождающуюся пиковую нагрузку из системы отопления путем преобразования уравнения (2) данной работы в следующий вид (обозначения и размерности величин, входящих в уравнение те же, что и в уравнении (2)):

$$\Delta Q = \frac{\Delta R}{R(R+\Delta R)} \cdot F(t_{bh} - t_{hp}^{op}) \cdot n, Bt. \quad (5)$$

Расчетная годовая экономия энергии определяется зависимостью

$$\Delta Q_{год}^{эн} = \Delta Q \frac{t_{bh} - t_{hp}^{op}}{t_{bh} - t_{hp}} \cdot 86,4 z_{op}, \text{кДж/год}, \quad (6)$$

где ΔQ – высвобождающаяся пиковая нагрузка на систему отопления, Вт; t_{hp}^{op} – средняя расчетная температура за отопительный период, $^{\circ}C$, z_{op} – расчетная продолжительность отопительного периода выраженная в сутках.

Дальнейший шаг при определении получаемой экономии денежных средств от мероприятий по утеплению наружных огра-

ждений зависит от того, из какого источника рассматриваемое здание получает тепловую энергию.

Если здание получает тепловую энергию от централизованного источника теплоснабжения или электрических сетей, то для определения снижения эксплуатационных расходов на отопление возможно использовать зависимость:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta Q_{год}^{эн} T, \text{руб./год}, \quad (7)$$

где $\Delta Q_{год}^{эн}$ – расчетная годовая экономия энергии, кДж/год; T – тариф на поставляемое количество энергии руб./кДж.

В случае использования других единиц измерения в тарифе их необходимо привести к указанным в формуле. Далее в расчетном примере продемонстрируем такое приведение.

Если здание получает тепловую энергию от сжигаемого топлива (как наиболее распространенный случай природный газ) на территории предприятия, то возможно использовать следующую зависимость:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{\Delta Q_{год}^{эн}}{Q_{hp}^{p \cdot \eta}} T, \text{руб./год}, \quad (8)$$

где Q_{hp}^{p} – низшая теплота сгорания топлива, кДж/м³; η – коэффициент полезного действия газового котла в долях единицы.

В итоге можно сформулировать следующий алгоритм при определении экономической эффективности мероприятий по утеплению наружных ограждающих конструкций:

определяем термическое сопротивление теплопередаче, интересующих нас существующих наружных ограждающих конструкций;

определяем изменение термического сопротивления соответствующих наружных ограждающих конструкций;

вычисляем высвобождающуюся пиковую нагрузку системы отопления;

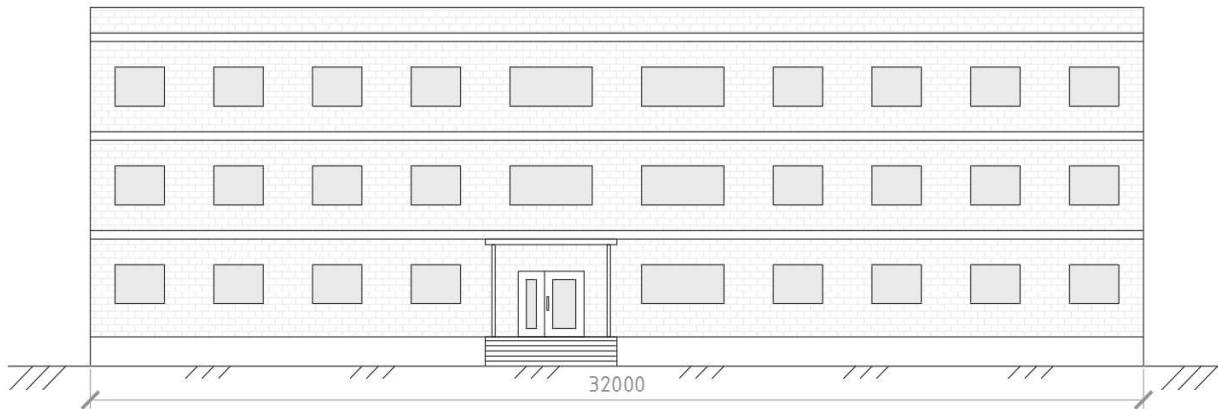
определяем расчетную годовую экономию энергии от мероприятий по утеплению наружных ограждающих конструкций;

находим экономический эффект от планируемых энергосберегающих мероприятий.

Результаты исследований. Применение описанных ранее зависимостей и алгоритма рассмотрим на примере.

Для административного здания сельскохозяйственного предприятия рассматривается вопрос дополнительного утепления наружных стен с целью снижения затрат на отопление здания. Предприятие располагается в Чеховском районе Московской области. Здание имеет форму прямоугольного параллелепипеда с размерами 32×12×10,9 м. Главный фасад здания в масштабе представим на рисунке. Окна





Административное здание

на боковых фасадах отсутствуют, а противоположный фасад повторяет главный, за исключением входной двери. Вместо нее на фасаде расположено окно с размерами 2,5×1,2 м. На наружные стены планируется добавить слой тепловой изоляции из минеральной ваты толщиной 100 мм с тепловодностью материала по условиям эксплуатации «Б» $\lambda = 0,048 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$. Состав существующей стены: наружная штукатурка ($\delta_1 = 0,02 \text{ м}$ и $\lambda_1 = 0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$), плизы минераловатные из каменного волокна ($\delta_2 = 0,05 \text{ м}$ и $\lambda_2 = 0,048 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$), кладка из обыкновенного глиняного кирпича ($\delta_3 = 0,25 \text{ м}$ и $\lambda_3 = 0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$), внутренняя штукатурка ($\delta_4 = 0,02 \text{ м}$ и $\lambda_4 = 0,93 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$).

Будем следовать по алгоритму, описанному выше.

1. Определяем термическое сопротивление теплопередаче существующей стены по формуле (3):

$$R_k = \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,05}{0,048} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{1}{8,7} = 1,559 \frac{\text{м}^2\cdot\text{К}}{\text{Вт}}$$

2. Определяем изменение термического сопротивления соответствующих наружных ограждающих конструкций. В условиях данной задачи рассматривается только вопрос утепления наружной стены, поэтому дополнительное термическое сопротивление по (4) составит:

$$\Delta R = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,1}{0,048} = 2,083 \frac{\text{м}^2\cdot\text{К}}{\text{Вт}}$$

3. Вычисляем высвобождающуюся пико-вую нагрузку из системы отопления. Площадь наружных стен без учета окон и входной двери определяется по чертежу и составляет 559 м², средняя температура внутреннего воздуха по

всему отапливаемому объему здания 20 °С, расчетная температура наружного воздуха для системы отопления равна -26 °С, коэффициент поникающий расчетную разность температур $n = 1$. Воспользуемся уравнением (5):

$$\Delta Q = \frac{2,083}{1,559 \cdot (1,559 + 2,083)} \cdot 559 \cdot (20 - (-26)) \cdot 1 = 9427 \text{ Вт.}$$

4. Определяем расчетную годовую экономию энергии от мероприятий по утеплению наружных ограждающих конструкций. Средняя расчетная температура за отопительный период $t_{\text{н.ср}}^{\text{оп}} = -2,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а расчетная продолжительность отопительного периода $z_{\text{оп}} = 211 \text{ сут}$. Воспользуемся уравнением (6).

$$\Delta Q_{\text{год}}^{\text{эн}} = 9427 \cdot \frac{20 - (-2,2)}{20 - (-26)} \cdot 211 \cdot 86,4 = 82937954 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

5. В итоге находим экономический эффект от планируемых энергосберегающих мероприятий по уравнениям (7) и (8).

При получении тепловой энергии от централизованного источника теплоснабжения. Тариф на поставляемую энергию в этом случае представляется в руб./Гкал и в нашем случае составляет 2452,78 руб./Гкал. Для возможности использовать формулу (7) переведем $\frac{\text{кДж}}{\text{год}}$ в $\frac{\text{Гкал}}{\text{год}}$, используя коэффициент перевода 1/4187000:

$$\Delta \mathcal{E} = \frac{82937954}{4187000} \cdot 2452,78 = 48586 \frac{\text{руб.}}{\text{год}}$$

При получении тепловой энергии от электрических сетей. Тариф на поставляемую энергию в этом случае представляется в руб./(кВт·ч) и в нашем случае составляет 5,00 руб./(кВт·ч). Для



возможности использовать формулу (7) переведем $\frac{\text{кДж}}{\text{год}} \times \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{год}}$, используя коэффициент перевода 1/3600:

$$\Delta\mathcal{E} = \frac{82937954}{3600} \cdot 5,00 = 115192 \frac{\text{руб.}}{\text{год}}$$

Если здание получает тепловую энергию от сжиженного природного газа на территории предприятия. Тариф на поставляемый газ в этом случае представляется в руб./м³ и в нашем случае составляет 5,23 руб./м³. Низшая теплота сгорания для метана (основного компонента природного газа) составляет 35840 кДж/м³, а средний КПД газового котла составляет 0,8. По формуле (8) определим экономический эффект:

$$\Delta\mathcal{E} = \frac{82937954}{35840 \cdot 0,8} \cdot 5,23 = 15129 \frac{\text{руб.}}{\text{год}}$$

Заключение. Представлен удобный алгоритм для оперативного определения экономической эффективности мероприятий по увеличению теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций и, как следствие, дальнейшего снижения потребления энергии на отопление зданий сельскохозяйственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Ч. 1 // АВОК. – 2009. – № 1. – С. 10–16.

2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (Переиздание с поправкой). – Режим

доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-30494-2011>.

3. Кувшинов Ю.Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения. – М., 2007. – 184 с.

4. Малавина Е.Г., Самарин О.Д. Строительная теплофизика и микроклимат зданий: учебник. – М., 2018. – 288 с.

5. Самарин О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2015. – 134 с.

6. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 (с Изменением № 1). – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054205>.

7. СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/557662914>.

8. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М.: Минстрой РФ, 2018.

Ключко Алексей Константинович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.

Жила Виктор Андреевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.
Тел.: (495) 781-80-07.

Ключевые слова: потребление энергии; отопление; здание сельскохозяйственного назначения; отопительный период.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF REDUCING ENERGY CONSUMPTION FOR HEATING OF AGRICULTURAL BUILDINGS

Klochko Aleksey Konstantinovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Heat and Gas Supply and Ventilation", Moscow State University of Civil Engineering. Russia.

Zhila Viktor Andreevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Heat and Gas Supply and Ventilation", Moscow State University of Civil Engineering. Russia.

Keywords: energy consumption; heating; agricultural building; heating period.

When ensuring the required temperature regime in agricultural buildings, as well as administrative buildings in agriculture, the question of assessing the effectiveness of decision-making to reduce heating costs often arises. The article presents recommendations for assessing the effectiveness of making such decisions by increasing the heat-shielding properties of buildings and structures for agricultural enterprises. Methods of obtaining energy from various sources are considered.

