Журнал зарегистрирован Государственным Комитетом Российской Федерации по печати. Свидетельство № 016042 от 30 апреля 1997 г. Свидетельство о перерегистрации ПИ № ФС77-84706 от 06 февраля 2023 г.

Учредитель:
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Журнал издается на средства учредителя

Подписной индекс
42815 – «Урал-Пресс»

Контактные данные редакции:
Телефон: +7 (988) 242-63-30,
8(861) 221-58-54
Адрес: 350044, г. Краснодар,
ул. им. Калинина, 13
E-mail: mem462@yandex.ru
Сайт: www.energija.ru

Выпуск 3 (149), 2024. 12+
Подписано в печать: 05.11.2024
Дата выхода в свет: 20.10.2024
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Формат 60x84 1/8.
Тираж 200 экз. Заказ – 80 экз.

Отпечатано в типографии
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ
350044, г. Краснодар,
ул. им. Калинина, 13

Свободная цена

ISSN 1992-4658

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Издается с 1997 года

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА

№ 3 (149) 2024, Июнь

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ 4

Сингаевский Н. А., Масенко А. В., Коровченко М. С., Федотов И. А. Применение измерителя показателей качества электроэнергии при проведении лабораторных исследований работы однофазного трансформатора 4

Шамукаев С. Б., **Сафин Ф. Р.**, **Катков А. А.**Об эффективности использования светильников для стимуляции роста растений 8

Батухтин А. Г., Батухтин С. Г., Махов Е. А., Барановская М. Г. Оценка экологической и экономической эффективности внедрения системы плазменного воспламенения угольного топлива 16

Токарева А. Н., **Грачева Н. Н., Матвейкина Ж. В.**, **Демченко М. С.** Оценка совместного влияния толщин теплоизоляционных слоев стен и кровли на тепловую нагрузку здания ремонтной мастерской 22

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ 32

Анненков Р. А., Ефимов Н. Н., Безуглов Р. В., Папин В. В. Расчетный анализ работы завихрительного устройства в камере газификации 32

Шарпар Н. М., Жмакин Л. И., Маркова К. А., Власов И. Н. Энергоэффективная система конвективной сушки влажных материалов с использованием теплового насоса 38

Агафонова И. В., Мурашко М. М. Снижение трансферных перетоков теплоносителя и улучшение гидродинамических характеристик теплообменных аппаратов пластинчатого типа за счет оптимизации геометрии профиля магистральных каналов теплообменных пластин на примере инновационных решений отечественного производителя 45

Ашрятов А. А. Проблемы водоснабжения нежилых помещений или участков местности в зимний период года 52

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА 55

Егошина О. В., **Лукутина С. К.** Обеспечение изокинетичности пробы в устройствах отбора пара в системах химического контроля водно-химических режимов 55

Бусарев А. В., **Селюгин А. С.**, **Серебряков Д. С.** Очистка производственных стоков нефтебаз от нефтепродуктов с применением адсорбционных фильтров 59

Филимонова А. А., Ахметзянова А. Т., Филимонов А. А. Использование технологии обратного электродиализа для очистки промышленных и муниципальных сточных вод 66

НОВОСТИ, ПРОБЛЕМЫ, МНЕНИЯ 73

Кучеренко Д. Е., Кучеренко Р. Е., **Зубков С. С.** Методы повышения пропускной способности электропередач переменного тока 73

К ЧИТАТЕЛЯМ И АВТОРАМ 79

ОЦЕНКА СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИН ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СЛОЕВ СТЕН И КРОВЛИ НА ТЕПЛОВУЮ НАГРУЗКУ ЗДАНИЯ РЕМОНТНОЙ МАСТЕРСКОЙ

А. Н. ТОКАРЕВА[1], к.т.н., доцент
Н. Н. ГРАЧЕВА[1,2], к.т.н., доцент
Ж. В. МАТВЕЙКИНА[1], к.т.н., доцент
М. С. ДЕМЧЕНКО[1], к.т.н.

[1]***Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ,*** *347740,* ***Россия,*** *г. Зерноград Ростовской области, ул. Ленина, 21*
[2]***Донской государственный технический университет,*** *344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

Аннотация. *На основе многофакторного машинного эксперимента установлена зависимость снижения тепловых потерь здания от толщин теплоизоляционных слоев стен и кровли. Проведен анализ полученных зависимостей, на основе которого установлено значительное влияние толщины теплоизоляционного слоя кровли на изменение энергоэффективности здания ремонтной мастерской. Выполнена технико-экономическая оценка реализации энергосберегающего мероприятия. Определена толщина теплоизоляционного слоя кровли, при использовании которой достигается наибольший чистый дисконтированный доход.*

Ключевые слова*: теплоизоляционный слой, тепловая защита, ограждающая конструкция, пеноплэкс, толщина, стена, кровля*

Введение. В настоящее время в стране уделяется много внимания вопросам повышения энергоэффктивности зданий и сооружений. Согласно определению, указанному в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», «энергоэффективность зданий и сооружений – это характеристика, отражающая отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов в зданиях и сооружениях произведенным в целях повышения такого эффекта применительно к зданиям и сооружениям». Таким образом, основной задачей энергоэффективности является снижение потребляемых энергетических ресурсов за счет рационального использования энергии.

Предпосылкой проведения исследований в области рационального использования энергетических ресурсов послужил мировой энергетический кризис 1970 года [1]. Именно в этот период началась разработка и внедрение мероприятий по повышению энергоэффективности зданий и сооружений. В настоящее время принимаются различные меры и внедряются разнообразные проекты по снижению затрат энергетических ресурсов. К мероприятиям по повышению полезного расхода энергии относится использование вторичных энергетических ресурсов, применение эффективных систем отопления, экономия тепловой энергии в системах горячего водоснабжения, установка тепловых пунктов, перевод системы централизованного теплоснабжения на автономные котельные[2].

Однако, несмотря на многообразие мероприятий, понятие «энергоэффективность», ассоциируется, прежде всего, с усилением тепловой защиты. По оценкам экспертов 40% от всех мероприятий по повышению энергоэффективности зданий [3] составляют именно мероприятия по повышению термического сопротивления ограждающих конструкций зданий путем добавления слоев материала с хорошими теплотехническими характеристиками.

Исследования по совершенствованию тепловой защиты зданий рассматривают такие вопросы, как разработка новых теплоизоляционных материалов [4,5], использование воздушной прослойки в ограждающих конструкциях [6], определение оптимальной толщины теплоизоляционного слоя с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии [7]. Для оценки эффек-

тивности тепловой защиты зданий предлагается специальная методика [8], апробированная уже в нескольких регионах страны.

При всем многообразии тематик научных работ по повышению энергоэффективности зданий следует отметить такие моменты:

– все исследования проводятся, как правило, для административно-бытовых и жилых зданий. Вопросы энергоэффективности зданий производственных объектов рассмотрены в ограниченном количестве работ [9].

– при проведении работ изучался только один вид ограждающей конструкции (фасад или кровля). Отсутствуют научные работы по оценке взаимного влияния толщины теплоизоляционных слоев нескольких конструкций.

В представленной работе рассматриваются вопросы по определению такого сочетания толщины теплоизоляционного слоя кровли и теплоизоляционного слоя наружных стен, при котором достигается максимальная энергоэффективность здания мастерской по ремонту сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы. Исследования проводились применительно к зданию по ремонту сельскохозяйственной техники, расположенному в Ростовской области. В помещении мастерской находятся административно-бытовые помещения, термический участок, участок по ремонту электрооборудования, монтажный участок, слесарно-механический участок. В помещениях монтажного участка и слесарно-механического участка высотой 6м используется система воздушного отопления, совмещенная с приточной вентиляцией. В остальных помещениях высотой 3,6м используется система водяного отопления. Система вентиляции монтажного и слесарно-механического участков выполнена по схеме «сверху-вверх».

Схемы ограждающих конструкций здания показаны на рисунке 1.

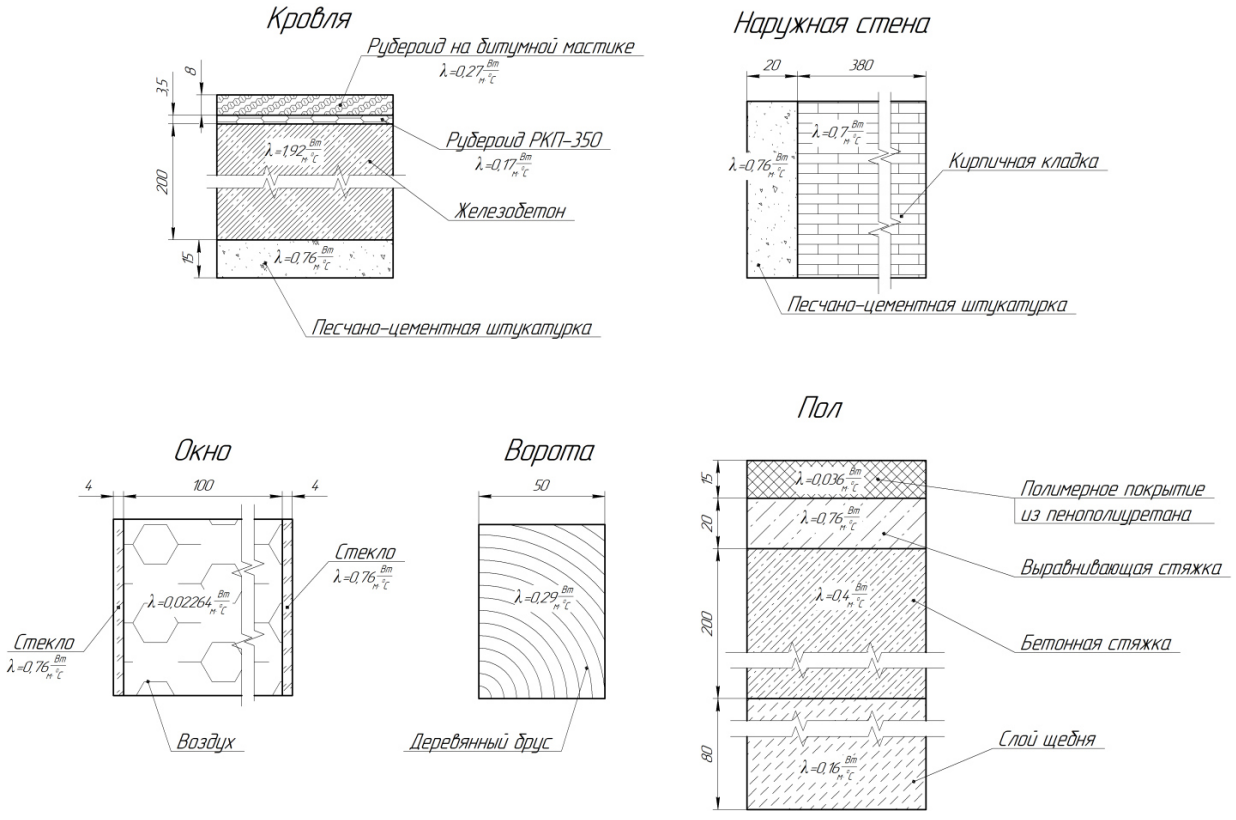


Рис. 1. Схемы ограждающих конструкций здания мастерской

Для представленных конструкций строительных ограждений был проведен расчет приведенного сопротивления теплопередаче. Данная величина является одним из основных показателей совершенства тепловой защиты зданий. Полученные значения сравнены с нормативными значениями проведенного сопротивления, которое, так же как и фактические величины, рассчитывается по методике, приведенной в СП 50.13330.2012. При качественной тепловой защите должно быть выполнено следующее условие

$$R_{огр}^{баз} \geq R_0^{тр} \quad (1)$$

где $R_{огр}^{баз}$ – фактическое приведенное сопротивление теплопередаче, $\frac{м^2 \cdot ^0C}{Вт}$;

$R_0^{тр}$ – нормируемое приведенное сопротивление теплопередаче, $\frac{м^2 \cdot ^0C}{Вт}$

Результаты вычислений по определению значений приведенного сопротивления теплопередаче представлено на рисунке 2.

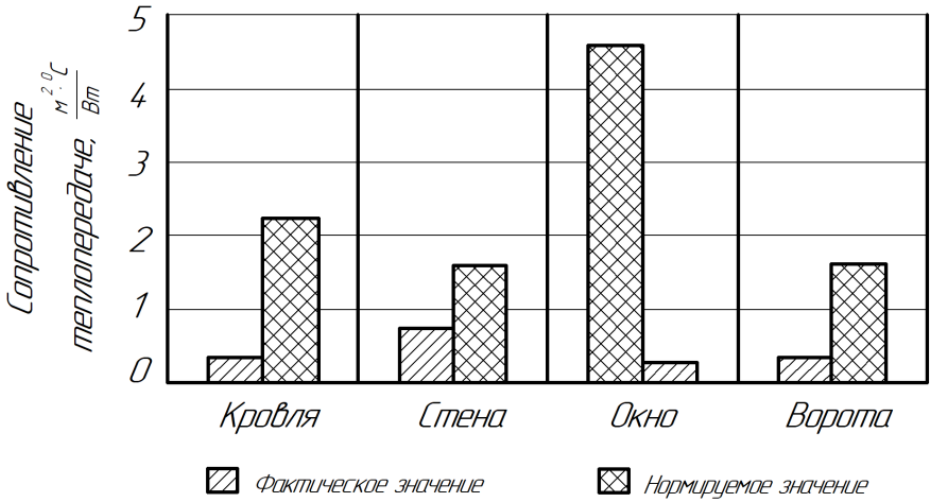


Рис. 2. Фактическое и нормируемое приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Как видно рисунка 2 по элементным требованиям теплозащитной оболочки удовлетворяет только конструкция окон. Остальные наружные ограждения нуждаются в реконструкции.

Структура затрат тепловой энергии на обеспечение требуемых параметров микроклимата в отопительный период в здании мастерской представлена на рисунке 3.

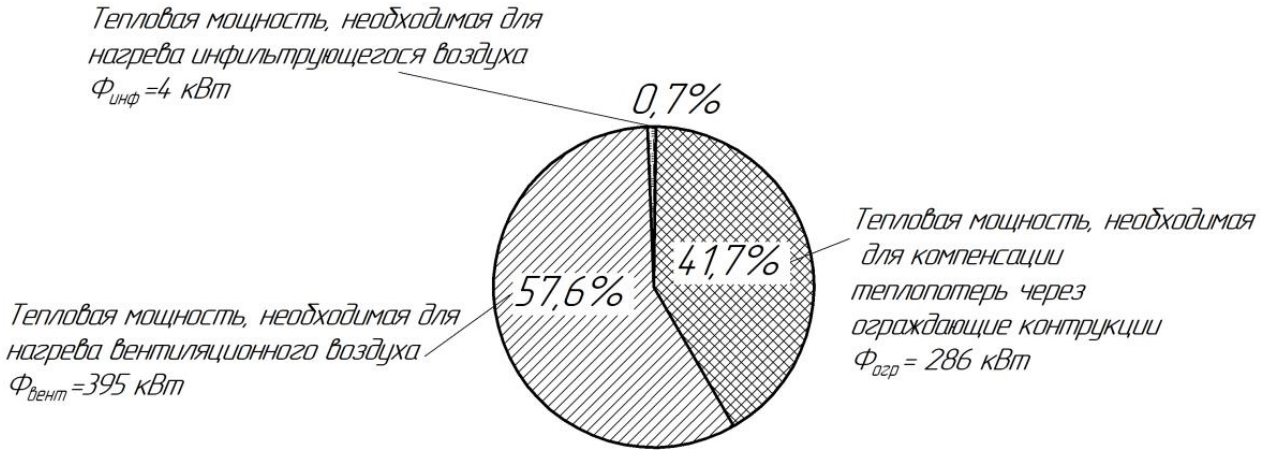


Рис. 3. Структура затрат тепловой энергии для здания ремонтной мастерской

Из представленной на рисунке 3 диаграммы видно, что 42% от общих затрат тепловой энергии приходится на компенсацию тепловых потерь через ограждения. Поэтому совершенствование теплозащитной оболочки здания позволит существенно снизать потребление энергетических ресурсов.

В настоящее время на рынке строительных материалов имеется достаточное количество материалов, которые обладают высоким сопротивлением теплопередаче. Проведенный анализ современных теплоизоляционных материалов [5] показал, что наилучшими теплотехническими показателями, а также показателями по влаго– и паропроницаемости обладает пеноплэкс. В связи с этим решено провести реконструкцию наружных стен и кровли с использованием слоя пеноплэкса. Предлагаемые схемы наружных ограждений приведены на рисунке 4.

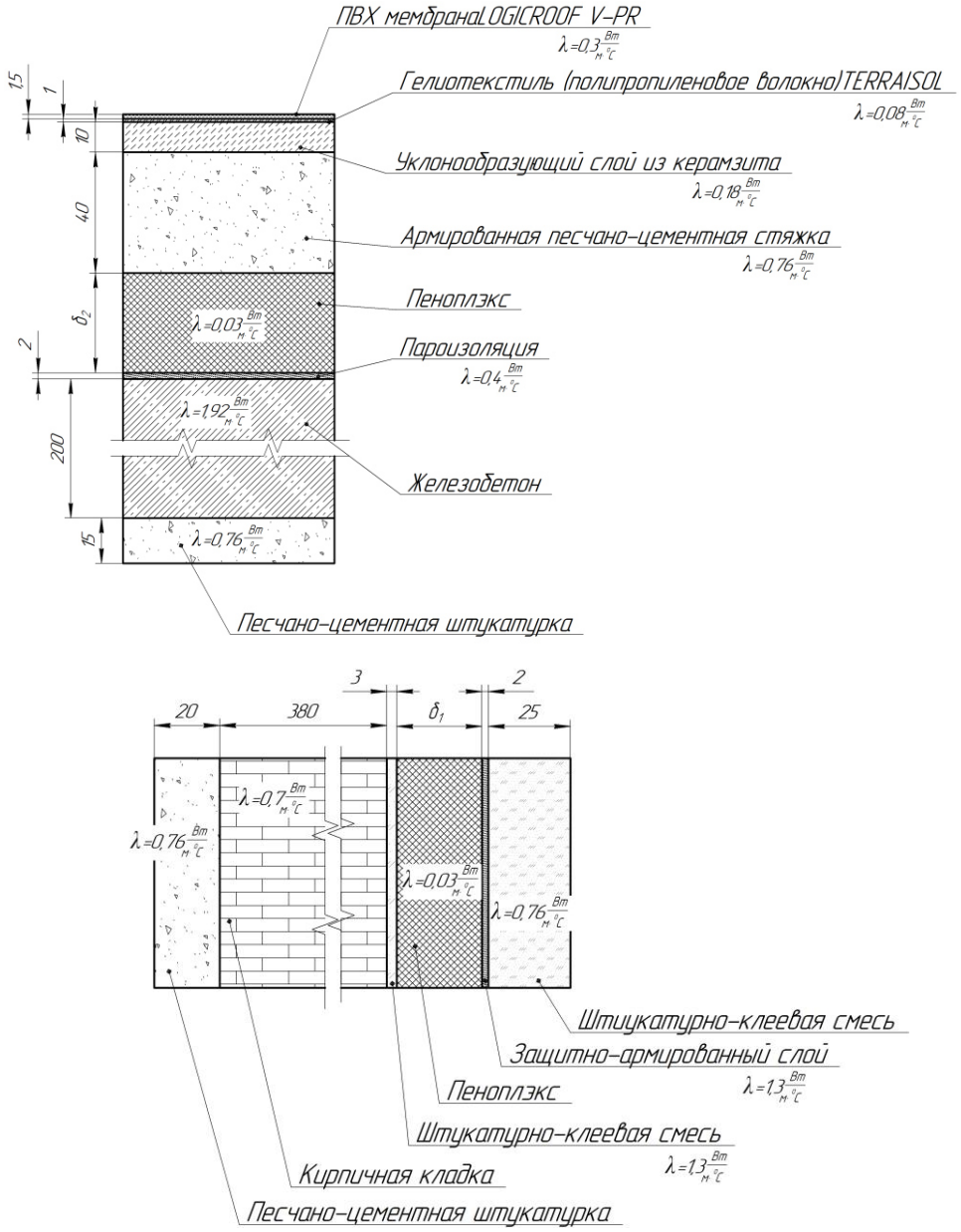


Рис. 4. Схемы наружных ограждений с пеноплэксом

Для представленных конструкций из условия требований по термическому сопротивлению ограждения была определена минимально необходимая толщина теплоизоляционного слоя. Для наружных стен эта величина составила 30мм, для кровли - 50мм.

Для определения наиболее оптимального сочетания толщин теплоизоляционных слоев стен и кровли был проведен многофакторный машинный эксперимент. Факторы – это толщины теплоизоляционного слоя наружных стен и толщина теплоизоляционного слоя кровли. Минимальный уровень варьирования – это минимально допустимая толщина (соответственно 30 и 50мм). Максимальный уровень – это максимальная стандартная толщина пеноплэкса, которая составляет 100мм. Нулевой уровень варьирования определился как среднеарифметическое значение максимального и минимального уровней.

Функция многофакторного эксперимента – это разница затрат тепловой энергии при использовании ограждающих строительных конструкций для базового варианта (рис.1) и при эксплуатации здания мастерской с кровлей и наружными стенами с усиленной теплозащитой из пеноплэкса (рис.4). Затраты тепловой энергии, как для базового, так и для предлагаемого варианта наружных ограждений, были определены по традиционной методике калорического расчета.

Матрица многофакторного эксперимента и результаты его реализации представлены в таблице 1.

Таблица 1
Результаты реализации двухфакторного машинного эксперимента для различных толщин теплоизоляционного слоя кровли и наружных стен

№ строки матрицы	Толщина пеноплэкса стен δ_1 (X_1),*м*	Толщина пеноплэкса кровли δ_2 (X_2),*м*	Снижение тепловой нагрузки $\Delta\Phi_{от}$, *кВт*
1	0,03 (–)	0,05 (–)	214,37
2	0,03 (–)	0,075 (0)	225,24
3	0,03 (–)	0,1 (+)	230,9
4	0,065 (0)	0,05 (–)	222,62
5	0,065 (0)	0,075 (0)	223,27
6	0,065 (0)	0,1 (+)	238,95
7	0,1 (+)	0,05 (–)	225,38
8	0,1 (+)	0,075 (0)	236,01
9	0,1 (+)	0,1 (+)	241,71

Обработка полученных в результате многофакторного эксперимента данных была проведена при помощи программы «Statistica».

Анализ полученных данных. В результате обработки полученного числового массива (табл.1) была получена функция, графическая интерпретация которой представлена на рисунке 5.

Изменение тепловой нагрузки (*кВт*) от толщин теплоизоляционного слоя описывается уравнением

$$\Delta\Phi_{от} = 204{,}47 + 155{,}19\delta_1 + 2178{,}128\delta_2^2 \quad (2)$$

с коэффициентом аппроксимации $R^2=0{,}97$.

Поверхность отклика представляет собой «возвышающийся гребень», который свидетельствует о том, что полученная функция не имеет экстремума, а центр фигуры удален в бесконечность.

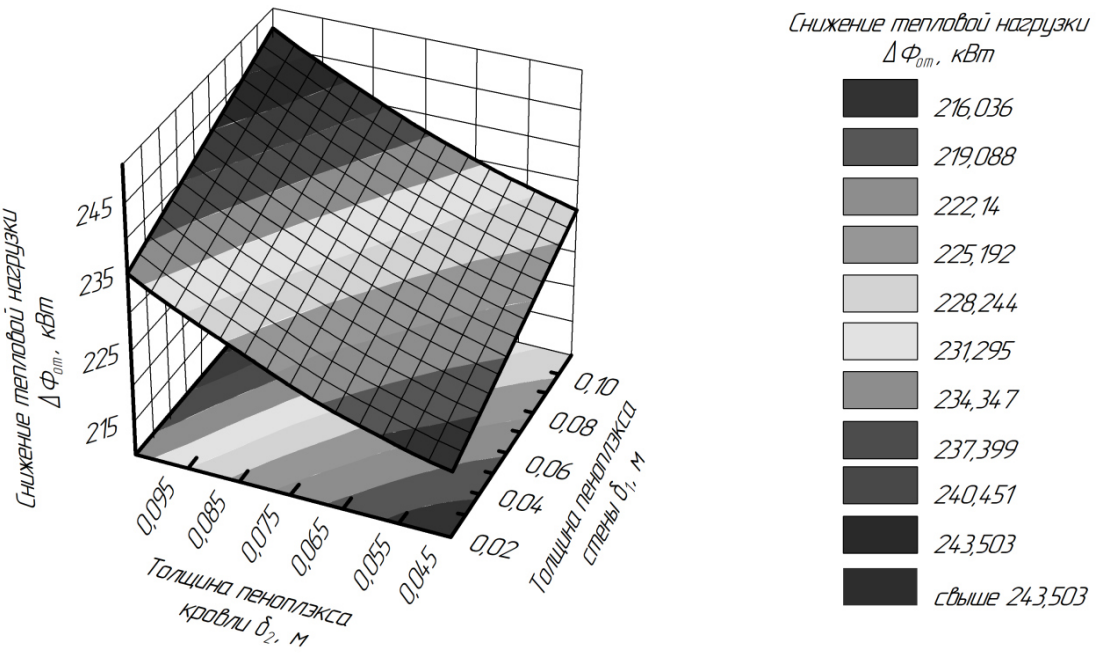


Рис. 5. Поверхность отклика функции изменения тепловой нагрузки от толщины теплоизоляционного слоя наружных стен (δ_1) и толщины теплоизоляционного слоя кровли (δ_2)

Анализ функции (2) свидетельствует о том, что толщина теплоизоляционного слоя наружных стен незначительно влияет на уменьшение тепловой энергии. Снижение затрат энергетических ресурсов происходит в основном за счет изменения толщины теплоизоляционного слоя кровли. Изменение тепловой энергии находится в квадратичной зависимости от величины δ_2.Также следует отметить, что коэффициент величины δ_1 на порядок ниже коэффициента величины δ_2.

Из этого можно сделать вывод, что при проведении дальнейших исследований необходимо варьировать только величиной теплоизоляционного слоя кровли δ_2, а толщину теплоизоляции наружных стен δ_1 принять величиной постоянной и равной минимальной стандартной толщине, при которой обеспечивается нормируемое значение сопротивления теплопередаче. Для рассматриваемого здания мастерской эта величина составляет δ_1=30мм.

При этом следует отметить, что затраты тепловой энергии для варианта с усиленной теплозащитой стен и кровли расходуются в основном на нагрев приточного воздуха. Потери теплоты через ограждающие конструкции, которые составляли в базовом варианте 286*кВт* (рис. 3) сводятся к величине 70*кВт* при минимально возможных толщинах теплоизоляционных слоев и компенсируются тепловыделениями от технологического оборудования.

Для определения оптимальной толщины кровли была использована методика технико-экономической оценки [8], разработанная специально для определения эффективности теплозащитных ограждающих конструкций. Простой срок окупаемости определяется как

$$T = \frac{\Delta Э}{\Delta K} \qquad (3)$$

где $\Delta Э$ –экономия тепловой энергии при использовании ограждающих конструкций с пеноплэксом, выраженная в денежном эквиваленте, руб;

ΔK – разница капитальных затрат в базовом варианте и варианте с усиленной теплозащитой стен и кровли, руб.

Расчет экономии тепловой энергии и разницы капитальных затрат был проведен по методике, представленной в работе [8]. Результаты расчетов срока окупаемости проекта по усилению тепловой защиты здания представлены в виде гистограммы на рисунке 6.

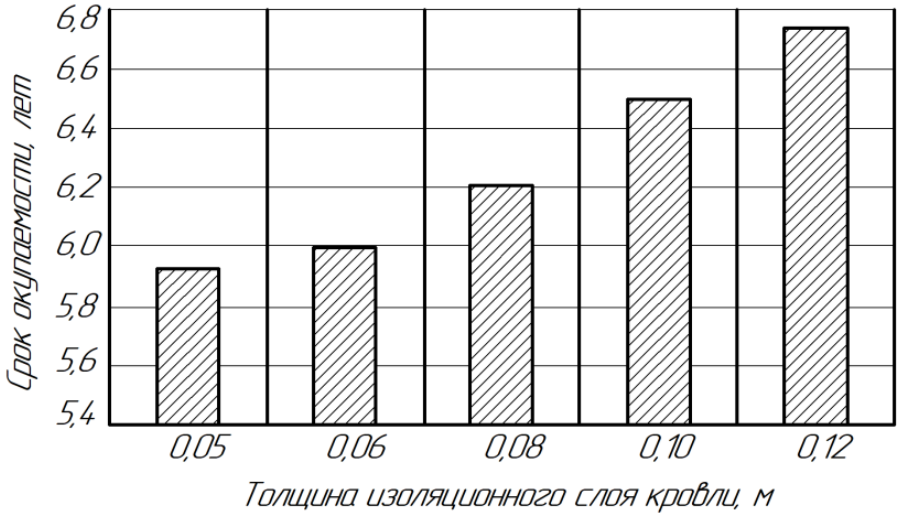


Рис. 6. Изменение простого срока окупаемости реконструкции ограждений от толщины теплоизоляционного слоя кровли.

Из представленной гистограммы видно, что с увеличением толщины пеноплэкса кровли выше стандартного значения, срок окупаемости капитальных вложений существенно выше срока окупаемости при использовании изоляционных слоев стандартной величины. При использовании пеноплэкса стандартной толщины 50, 60 и 80 мм срок окупаемости незначительно отличается друг от друга. Поэтому окончательно сделать выбор толщины изоляционного слоя поможет только чистый дисконтированный доход (ЧДД) для стандартного ряда толщин пеноплэкса.

Расчет чистого дисконтированного дохода был проведен при помощи математического аппарата, представленного в работе [10]. Результаты расчета ЧДД представлены также в виде гистограммы на рисунке 7.

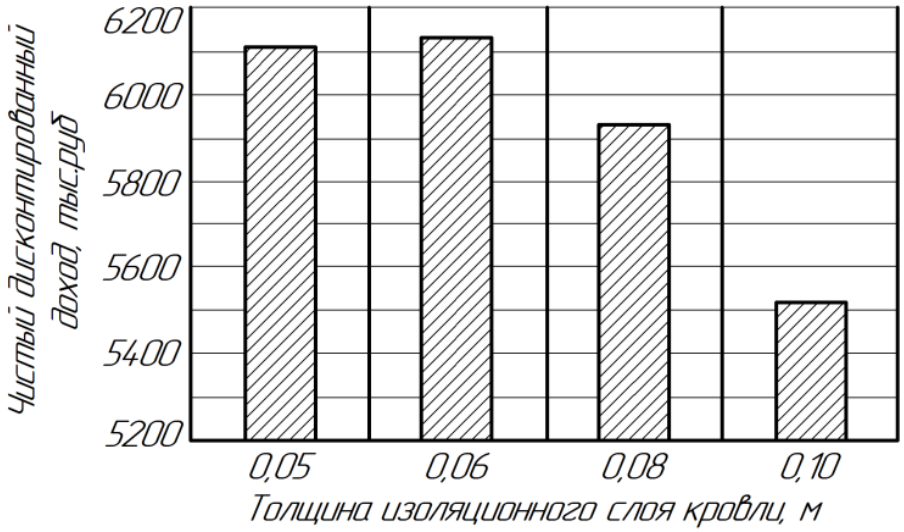


Рис. 7. Изменение чистого дисконтированного дохода в зависимости от толщины теплоизоляционного слоя кровли

Таким образом, максимальный доход получился при использовании кровли с толщиной пеноплэкса равной 60мм. С увеличением толщины теплоизоляционного слоя доход уменьшается.

Заключение. Для здания мастерской толщина теплоизоляционного слоя наружных стен не оказывает существенного влияния на потребление тепловой энергии по сравнению с толщиной теплоизоляционного слоя кровли. Наилучшие экономические показатели достигаются при толщине пеноплэкса 30мм и 60мм соответственно для наружных стен и кровли.

При совершенствовании тепловой защиты здания мастерской потери теплоты через ограждающие конструкции производственных участков были практически сведены к нулю. Этот факт объясняется тем, что потери теплоты через строительные конструкции компенсируются тепловыделения от установленного на участках технологического оборудования. Затраты тепловой энергии расходуются в основном на нагрев приточного вентиляционного воздуха и на нагрев воздуха в административно-бытовых помещениях.

Так как при вентиляции производственных участков воздух поступает в помещение из верхней зоны здания, то наличие теплоизоляционного слоя в кровле позволяет сохранить теплоту поднимающихся внутренних воздушных потоков, которыми можно предварительно нагреть, поступающий в помещение воздух. Таким образом, можно достичь дополнительной экономии тепловой энергии. Данный вопрос вызывает интерес и требует дальнейшего исследования по повышению энергоэффективности здания мастерской.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евтушенко, И .И. Зарубежный и отечественный опыт проектирования и строительства энергоэффективных зданий / И. И.Евтушенко, О. А. Володина //Синергия Наук. 2019. № 35.С. 797-803.

2. Колубков А. Н. Реализация энергосберегающих мероприятий в инженерных системах многоквартирных жилых домов / А. Н. Колубков, Н. В. Шилкин // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2011. № 7. С. 12-19.

3. Лучкина В. В. Оптимизация проекта энергоэффективного строительства и анализ рынка энергоэффективных технологий при проектировании зданий / В. В.Лучкина //Системные технологии. 2018. № 3 (28). С. 5-13.

4. Zhang Hongmai, Tang Yuan. Analysis of the advantages and disadvantages of different typesof thermal insulation of external walls//Academic research in China. 2012. №6. Pp. 18-20.

5. Ярцев В. П. Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов (минеральной ваты и пенополистирола)/ В. П. Ярцев, А. А. Мамонтов, С. А. Мамонтов // Кровельные и изоляционные материалы. 2013. №1. С.8-11.

6. Токарева А. Н. Анализ теплозащитных ограждающих конструкций ремонтного цеха //А. Н. Токарева и [др] // Энергосбережение и водоподготовка. 2022. №4(138). С.41-46.

7. Ведрученко В. Р. Результаты численного исследования теплозащиты здания с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии / В. Р. Ведрученко и [др] // Энергосбережение и водоподготовка. 2022. №1(135). С.16-21.

8. Горшков А. С. Методика и пример расчета окупаемости инвестиций при реализации энергосберегающих мероприятий в строительстве/ А. С. Горшков, П. П. Рымкевич // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. №9. С.40-45.

9. Федосов С. В. Энергоэффективность зданий, строений и сооружений промышленного и сельскохозяйственного назначения/ С. В. Федосов и [др] // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году. Сборник научных трудов РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук. Москва, 2020. С. 477-481.

10. Демаков И. В. Совершенствование показателя приведенных затрат для экономической оценки инвестиционного проекта / И. В.Демаков, М. В.Новиков, И. А.Павлова // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 472.URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22877636_77915780.pdf