

УДК 69

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

М.Р. Загидуллин, О.С. Гамаюнова, Т.А. Коряковцева
*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Рост цен на энергоресурсы и увеличение энергопотребления, связанные с длительной эксплуатацией (износом) зданий, приводят к необходимости разработки эффективных мероприятий по повышению энергоэффективности зданий. Данная работа посвящена анализу энергоэффективности и окупаемости мероприятий по снижению потребления энергоресурсов на примере социального объекта, расположенного в г. Санкт-Петербург. Цель исследования – разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности объектов социальной инфраструктуры. Практическая значимость исследования состоит в том, что предложенный набор мероприятий по энергосбережению показывает свою экономическую эффективность и имеет потенциал для применения в действующих социальных учреждениях. В работе приведены результаты энергетического аудита социального объекта, теплотехнический расчет ограждающих конструкций и трубопроводов, определены теплотери существующих конструкций. Предложены мероприятия по повышению энергетической эффективности и обоснована их экономическая эффективность. Обследование систем теплоснабжения, ограждающих конструкций выявило необходимость принятия следующих мер в целях повышения энергоэффективности: замена теплоизоляционных материалов трубопроводов на современные цилиндры на синтетическом связующем, проведение работ по дополнительному утеплению всех ограждающих конструкций.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, инженерные системы, энергоэффективность, социальные объекты, потребление энергии, теплоизоляционные материалы, теплопроводность, срок окупаемости.

Ссылка для цитирования: Загидуллин М.Р., Гамаюнова О.С., Коряковцева Т.А. Обоснование технических решений по повышению энергоэффективности ограждающих конструкций и инженерных систем объектов социальной инфраструктуры // Инженерные исследования. 2024. №3(18). С. 27-38. EDN: QBFJGI

JUSTIFICATION OF TECHNICAL SOLUTIONS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF ENCLOSING STRUCTURES AND ENGINEERING SYSTEMS OF SOCIAL INFRASTRUCTURE FACILITIES

M.R. Zagidullin, O.S. Gamayunova, T.A. Koryakovtseva
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Rising prices for energy resources and increasing energy consumption associated with long-term operation (wear and tear) of buildings lead to the need to develop effective measures to improve the energy efficiency of buildings. This work is devoted to the analysis of energy efficiency and payback of measures to reduce energy consumption using the example of a social facility located in St. Petersburg. The purpose of the study is to develop recommendations for improving the energy efficiency of social infrastructure facilities. The practical significance of the study is that the proposed set of energy saving measures shows its economic efficiency and has the potential for application in existing social institutions. The work presents the results of an energy audit of a social facility, a heat engineering calculation of enclosing structures and pipelines, and determines heat losses of existing structures. Measures to improve energy efficiency are proposed and their economic efficiency is substantiated. A survey of heat supply systems and enclosing structures revealed the need to take the following measures to improve energy efficiency: replacing thermal insulation materials of pipelines with modern cylinders on a synthetic binder, carrying out work on additional insulation of all enclosing structures.

Keywords: enclosing structures, engineering systems, energy efficiency, social facilities, energy consumption, thermal insulation materials, thermal conductivity, payback period.

For citation: Zagidullin M.R., Gamayunova O.S., Koryakovtseva T.A. Justification of technical solutions to increase the energy efficiency of enclosing structures and engineering systems of social infrastructure facilities // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2024. No.3(18). Pp. 27-38. EDN: QBFJGI

ВВЕДЕНИЕ

Согласно исследованиям, затраты на энергоресурсы в России на 1 м² здания в 2-4 раза выше, чем в других развитых странах [1], что свидетельствует о неэффективном использовании энергии в зданиях. Ситуацию усугубляет прогнозируемый рост цен на энергоносители как внутри страны, так и на международном рынке. В связи с этим, повышение энергетической эффективности зданий становится неотложной задачей, способной сократить энергозатраты и повысить экономическую эффективность эксплуатации зданий и сооружений.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 161 введены строгие стандарты энергоэффективности для зданий, особенно для государственных и муниципальных объектов, включая медицинские учреждения. Данное постановление направлено на сокращение потребления энергии и повышение энергетической эффективности. Исходя из этого, разработка и внедрение мер по повышению энергетической эффективности зданий социальной инфраструктуры приобретают особую актуальность и требуют действий.

Цель исследования - разработка рекомендаций по повышению энергетической эффективности объектов социальной инфраструктуры на примере объекта здравоохранения.

Задачи:

1. Изучение существующих нормативных актов и научных исследований в области энергоэффективности зданий, определение ключевых проблем и барьеров, препятствующих повышению энергоэффективности.

2. Выявление существующих недостатков и потенциала для оптимизации энергопотребления на объектах социальной инфраструктуры. Формулировка конкретных практических рекомендаций по повышению энергоэффективности объектов социальной инфраструктуры.

3. Оценка финансовых затрат на реализацию предложенных мер и расчет экономического эффекта от повышения энергоэффективности, включая срок окупаемости инвестиций.

Объект исследования – наружные ограждающие стеновые конструкции и инженерные системы социального объекта, расположенного в г. Санкт-Петербург. Предмет исследования – теплофизические характеристики ограждающих стеновых конструкций и теплоизоляционных материалов. Научная новизна исследования состоит в разработке рекомендаций, направленных на повышение энергоэффективности объектов социальной инфраструктуры.

В 2009 г. был принят Федеральный закон №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», который определяет энергетическую эффективность как «комплекс технологических мер, направленный на сокращение затрат на энергоресурсы при сохранении их полезного эффекта». Особое внимание уделяется снижению потребления тепловой энергии для комфортного микроклимата в помещениях. Важно отметить, что любые мероприятия по повышению энергоэффективности должны быть экономически обоснованы, технически реализуемы и безопасны.

В некоторых странах были определены факторы и система оценок энергетической эффективности строительного объекта. Выделяют 12 ключевых пунктов, влияющих на энергопотребление на протяжении всего жизненного цикла здания¹:

1. теплозащита оболочки здания (качество теплоизоляции стен, крыши, окон);
2. микроклимат помещения (температура, влажность, вентиляция);
3. наружный климат (температурные условия региона, солнечная радиация);
4. энергоемкость здания (общая площадь, объем, использование энергоэффективных материалов);
5. долговечность (срок службы здания, использование долговечных материалов);
6. система вентиляции (эффективность работы системы, использование энергоэффективных вентиляционных систем);
7. горячее водоснабжение (использование энергоэффективных водонагревателей, система управления горячим водоснабжением, теплоизоляционные материалы);
8. электроснабжение (использование энергосберегающих осветительных приборов, электроприборов, система управления электроснабжением);
9. источник возобновляемой энергии (использование солнечных панелей, ветрогенераторов, геотермальной энергии);

¹ Постановление Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 161 “Об утверждении требований к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации”. М., 2021. 54 с.

10. архитектурно-планировочное решение здания и района застройки (рациональное расположение здания, ориентация по сторонам света, использование естественного освещения и площадь озеленения, наличие тени, ветрозащита);

11. экология (использование экологически чистых материалов, минимизация негативного воздействия на окружающую среду);

12. нормативно-правовое законодательство (строгие стандарты энергоэффективности, стимулы для энергосбережения).

Важно подчеркнуть, что энергоэффективность - это комплексный подход, охватывающий все этапы жизненного цикла здания, начиная с проектирования и заканчивая эксплуатацией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Комплексный подход к энергоэффективности зданий

Для достижения максимальной энергоэффективности в зданиях и сооружениях требуется использование комплексного подхода. Это означает, что снижение энергопотребления и оптимизация энергетических систем должны происходить одновременно на различных уровнях, начиная от правильного проектирования зданий с оценкой теплопотерь и использованием современных материалов, до внедрения инновационных технологий управления и мониторинга энергопотреблением. Этот комплексный подход позволяет не только снизить энергозатраты и улучшить энергетическую эффективность, но и создать комфортные условия проживания и работы, а также сократить негативное воздействие на окружающую среду.

Для достижения максимальной энергоэффективности в зданиях необходимо применять комплексный подход, который включает в себя:

- Правильное проектирование: оценка теплопотерь, использование современных материалов, выбор оптимальных решений по ориентации здания и естественному освещению.

- Современные технологии: внедрение инновационных систем управления и мониторинга энергопотреблением, использование интеллектуальных систем автоматизации.

- Энергосберегающие материалы: применение материалов с высокими теплоизоляционными свойствами, таких как, например, теплоизоляционный бетон. Теплоизоляционный бетон является не только энергоэффективным материалом, но также способен нести нагрузки и использоваться при возведении несущих конструкций. Применение теплоизоляционного бетона для сокращения тепловых потерь в стеновых ограждающих конструкциях в жилищном строительстве возможен при использовании различных добавок. Так, например, бетон с добавлением аэрогеля может иметь теплопроводность 0,64–1,1 Вт/(м·°С) [2].

Преимущества комплексного подхода:

- Снижение энергозатрат: сокращение расходов на отопление, охлаждение, вентиляцию и электроснабжение.

- Повышение комфорта: создание комфортного микроклимата в помещениях, улучшение качества жизни.

- Экологическая ответственность: снижение выбросов парниковых газов, сокращение негативного воздействия на окружающую среду.

Применение комплексного подхода, использование современных материалов и технологий, а также соблюдение законодательных норм в сфере энергосбережения - все это необходимо для достижения максимальной энергоэффективности зданий и создания комфортной и экологичной среды для жизни и работы.

Препятствия на пути к энергоэффективности социальных объектов в России.

Россия ставит перед собой амбициозные цели по повышению энергоэффективности, но существует ряд барьеров, которые препятствуют их достижению, особенно в сфере эксплуатации социальных объектов. Ключевые проблемы:

1. Низкая осведомленность. Руководители предприятий не всегда осознают потенциал энергосбережения и предпочитают инвестировать в увеличение продаж, а не в оптимизацию расходов. Финансовые учреждения неохотно кредитуют энергосберегающие проекты, считая их рискованными. Потребители не всегда осознают реальную стоимость потребляемой энергии и не связывают ее с ежедневными расходами.

2. Отсутствие верных статистических данных: дефицит информации о потреблении и производстве энергии в различных секторах экономики затрудняет оценку масштабов проблемы и потенциала

экономии. Отсутствие системы сбора данных о потреблении энергии в социальных объектах приводит к неэффективному использованию бюджетных средств.

3. Недостаток знаний. Сотрудники банков, а также специалисты в сфере энергетики часто не обладают достаточными знаниями о методах повышения энергоэффективности, что затрудняет оценку и финансирование проектов.

4. Несовершенная система платежей. Методы начисления платежей за тепло- и водоснабжение, основанные на нормативах, а не на фактическом потреблении, стимулируют неучтенное потребление и повышают энергоемкость. Отсутствие ясной методологии формирования платежей за энергоресурсы затрудняет стимулирование энергосбережения.

Чтобы преодолеть эти барьеры, необходим комплексный подход, включающий:

- Повышение осведомленности: проведение информационных кампаний, обучение специалистов, популяризация энергосберегающих практик.
- Развитие системы сбора статистики: создание единой системы сбора данных о потреблении энергии в различных секторах.
- Создание механизмов стимулирования: введение финансовых стимулов для предприятий и частных лиц, инвестирующих в энергосбережение.
- Переход к реальным тарифам: переход от нормативов потребления к реальным показателям, что будет стимулировать более рациональное использование ресурсов.

Успех страны в реализации стратегии по повышению энергоэффективности напрямую зависит от преодоления этих проблем. Только комплексный подход, включающий просвещение, прозрачность и правильную мотивацию, позволит достичь реальных результатов в энергосбережении. Россия выделяется наибольшим относительным потенциалом сокращения выбросов, применяя эффективные меры среди стран БРИКС [3].

Анализ энергетической эффективности социальных объектов

Рост цен на энергоресурсы ставит перед городскими властями серьезную проблему: как обеспечить стабильное функционирование городской инфраструктуры, не перегружая бюджет. Энергоаудит (энергетическое обследование) - это точная диагностика, которая выявляет:

- Анализ потребления энергии, выявление утечек и потерь, например, в системах отопления, вентиляции, освещения.
- Определение возможностей для оптимизации энергопотребления, от замены устаревшего оборудования до внедрения современных систем управления.
- Разработка индивидуального плана действий по энергосбережению, который помогает снизить расходы на электроэнергию, тепло, воду [4, 5].

Целью энергетического обследования является сбор и анализ данных об использовании энергетических ресурсов для получения информации о показателях энергетической эффективности, определения потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности, которые в дальнейшем отражаются в энергетическом паспорте. Проведение энергетического аудита социальных объектов предоставляет детальную информацию о текущем состоянии энергетического оборудования и сетей в каждом населенном пункте. Это позволяет выделить потенциал для сокращения затрат на энергоресурсы, разработать эффективную программу по энергосбережению и способствовать устойчивому развитию жилищного хозяйства и других отраслей экономики в области энергетики. Благодаря энергетическому обследованию можно значительно уменьшить платежи со стороны потребителей, включая государственные учреждения, за использование энергоресурсов, а также выделить финансирование для внедрения мер по энергосбережению из различных источников доходов и целевых программ регионального бюджета [6, 7].

Целью энергетического обследования является сбор и анализ данных об использовании энергетических ресурсов: определение объемов потребления энергии, выявление потерь и неэффективного использования, определение текущего уровня энергоэффективности объекта, создание комплексной программы мер, направленных на снижение потребления энергии и оптимизацию работы инженерных систем.

Энергетическое обследование является неотъемлемым инструментом для повышения энергоэффективности объектов социальной инфраструктуры, что в свою очередь способствует устойчивому развитию экономики и сокращению затрат на энергоресурсы. Благодаря комплексному подходу, реализация предложенных мероприятий позволит сократить энергопотребление объекта на 5-30% [8-10].

В данной работе в качестве объекта исследования выбрано 12-корпусное здание здравоохранения с объединенными переходами и централизованными инженерными сетями. Головной тепловой пункт получает нагретую воду с температурным графиком 150/70°C по двум трубопроводам диаметром 219 мм. Оснащен КУУТ на базе расходомеров ПРЭМ-2-100-А и тепловычислителем ВКТ-4М №4301 представляют собой смесительные элеваторные узлы, которые понижают температуру теплоносителя до 95/70°C для системы радиаторного отопления. Тепловой автоматики не предусмотрено.

Система отопления однотрубная с верхним розливом в лечебных корпусах, однотрубная с горизонтальным розливом в пищеблоке и административном корпусе. Отопительными приборами являются чугунные радиаторы М140 АО, стальные панельные радиаторы РСВ и конвекторы КН-20. Отсутствует регулировка теплоотдачи и балансировочных кранов на ответвлениях и стояках. По корпусам наблюдается неравномерность прогрева по мере удаления от главных стояков. Для теплоизоляции использовался шнур из минеральной ваты, оштукатуренный асбеститом. Согласно постановлению Правительства РФ №869, асбестовые материалы не рекомендованы в массовом строительстве.

Обнаруженные недостатки:

- Износ теплоизоляции. Около 70% тепловой изоляции пришло в негодность (рис. 1).
- Повышенная температура на поверхности изоляции. В некоторых поврежденных местах температура достигает 45°C, что не соответствует требованиям СП 50.13330.2012.
- Неравномерность прогрева по мере удаления от главных стояков.
- Отсутствие балансировочных кранов. Отсутствует регулировка теплоподдачи на ответвлениях и стояках.
- Неэффективность старой изоляции. Тепловизионная съемка показала существенное увеличение теплового потока на участках с хорошо сохранившейся старой изоляцией (шнур) по сравнению с небольшим участком, выполненным современной тепловой изоляцией цилиндрами на синтетическом связующем, кашированная алюминиевой фольгой (помещение головного теплоцентра) [11].

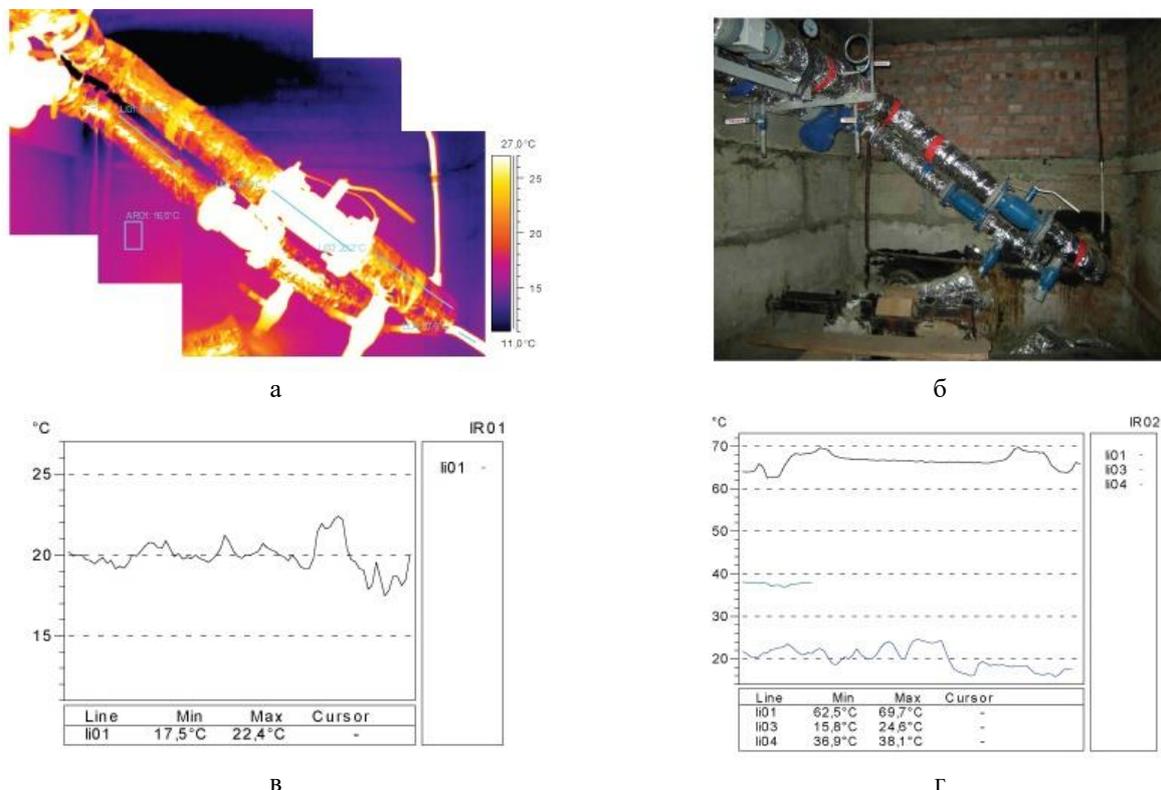


Рис. 1. Термограммы, фотографии и графики распределения температур трубопровода: а – термограмма трубопровода; б – фотография трубопровода; в – график распределения температур на поверхности труб отопления по изоляции; г - график распределения температур на поверхности труб отопления не изолированной части

Fig. 1. Thermograms, photographs and graphs of the temperature distribution of the pipeline: а – thermogram of the pipeline; б – photograph of the pipeline; в – graph of the temperature distribution on the surface of the heating pipes by insulation; г - graph of the temperature distribution on the surface of the heating pipes of the non-insulated part

Системе теплоснабжения здания требуются модернизация и ремонт, в том числе: замена теплоизоляции на современные материалы, соответствующие требованиям безопасности и энергоэффективности, внедрение системы регулирования теплоотдачи отопительных приборов, установка балансировочных кранов для равномерного распределения тепла. Данные мероприятия позволят повысить энергоэффективность системы теплоснабжения, снизить расходы на энергоресурсы и создать более комфортные условия в здании.

Тепловизионное обследование - это инструмент контроля качества теплозащиты наружных ограждающих конструкций. Для оценки качества теплозащиты наружных ограждающих конструкций здания было проведено обследование (рис. 2). Обследование проводилось с целью мониторинга теплозащитных свойств с определением тепловых потерь через ограждающие конструкции и выявления потенциальных скрытых дефектов, то обнаружение участков с нарушенной теплоизоляцией, промерзания, мостиков холода. Применялась методика тепловизионного контроля качества тепловой защиты ограждающих конструкций зданий и сооружений, утвержденная ФГУ «ТЕСТ Санкт-Петербург», использовался тепловизор ThermaCAM P 65 производства FLIR SYSTEMS [12]. Тепловизионное обследование является эффективным инструментом для выявления проблем с теплозащитой наружных ограждений, что позволяет своевременно принять меры по их устранению и повышению энергоэффективности здания.

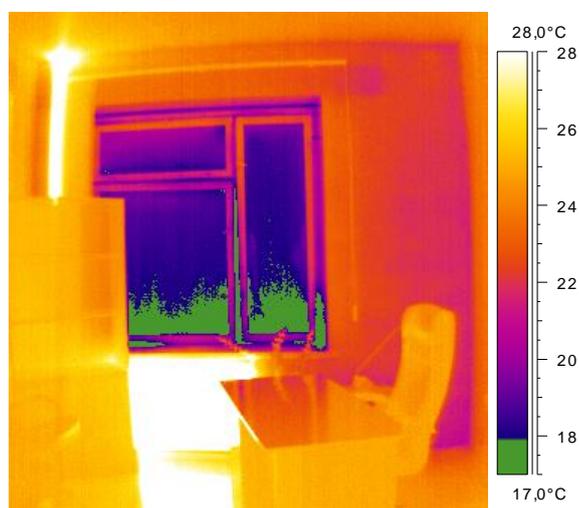


Рис. 2. Термограмма внешней стеновой конструкции
Fig. 2. Thermogram of the external wall structure

Тепловые изображения автоматически преобразуются в термограммы путем амплитудного преобразования шкалы сигнала в температурную шкалу. Термограммы позволяют визуализировать и идентифицировать дефектные участки ограждающих конструкций здания. Наиболее характерными дефектными участками для стен являются: примыкания к покрытию; примыкание к перекрытиям; наружные углы. Для окон: примыкание оконных блоков к стеновым проемам; притворы оконных блоков. Полученные результаты тепловизионного обследования наружных ограждающих конструкций зданий говорят о необходимости проведения работ по дополнительному утеплению всех конструкций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рекомендации по повышению энергоэффективности объектов социальной инфраструктуры

Решение по смене теплоизоляции трубопроводов может сэкономить до 30% от годового потребления тепловой энергии, следовательно, данное мероприятие может внести значительный вклад в повышение энергетической эффективности всего объекта. Рассмотрим виды тепловой изоляции трубопроводов, которые приведены в табл.1.

Теплоизоляция трубопроводов индивидуальных тепловых пунктов важный аспект энергетической эффективности всего здания в целом. Теплотрассы нуждаются в теплоизоляции из-за существенной разницы температура внутренней и внешней среды. Эта разница приводит к значительным теплотерям, а значит и к нерациональному расходу энергии. Правильно подобранная теплоизоляция трубопроводом индивидуального теплового пункта, помогает избежать этого [13]. В качестве изоляции можно рассмотреть теплоизоляционные материалы, представленные в табл.2–4.

Таблица 1. Виды теплоизоляционных материалов
Table 1. Types of thermal insulation materials

Характеристики	Вспененный каучук	Минеральная вата	Вспененный полиэтилен
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,033-0,045	0,035-0,046	0,032
Форма выпуска	Трубки, рулоны, ленты, углы, тройники, подвесы	Рулоны, цилиндры, отводы, тройники, маты	Тройники, рулоны, ленты
Плотность, кг/м ³	65	105 - 150	35
Водопоглощение, %	0,6	10-15	0,6
Температура применения, С ⁰	От -200 до +110	От -180 до +750	От -80 до +100

Таблица 2. Теплоизоляционные материалы из минеральной ваты
Table 2. Thermal insulation materials made of mineral wool

Характеристики	Цилиндры навивные ROCKWOOL	Pro Wired Mat 80 Paroc	КВ-35 ФА ЭКОРОЛЛ
Страна	Россия	Россия	Россия
Номинальная плотность, кг/м ³	114 кг/м ³	80 кг/м ³	35 кг/м ³
Группа горючести	Г1	НГ	Г1
Температура применения	650 °С	640 °С	250 °С
Теплопроводность	0,046 Вт/(м·К)	0,048 Вт/(м·К)	0,061 Вт/(м·К)
Тип монтажа	С помощью продольного разреза	С использованием армирующей пришитой сетки	Хомутами, проволокой
Цена	436,00 руб. / м.п	1065,00 руб. / м ²	1 016,00 руб. / м ²

Таблица 3. Теплоизоляционные материалы из вспененного каучука
Table 3. Thermal insulation materials made of foam rubber

Характеристики	Трубки Armaflex ACE Толщина 25 мм	СТ Рулоны РУ-ФЛЕКС
Страна	Германия	Россия
Номинальная плотность, кг/м ³	65 кг/м ³	45 кг/м ³
Группа горючести	Г1	Г1
Температура применения	110 °С	110 °С
Теплопроводность	0,039 Вт/(м·К)	0,032 Вт/(м·К)
Тип монтажа	С помощью продольного разреза и клея	С помощью ленты, клея
Цена	2 473,21 руб. / м.п	1623,0 руб. / м ²

Таблица 4. Теплоизоляция из вспененного полиэтилена
Table 4. Thermal insulation made of foamed polyethylene

Характеристики	Трубки ThermaECO Thermaflex	Рулоны Energoflex Super ROLS ISOMARKET
Страна	Россия	Россия
Номинальная плотность	35 кг/м ³	45 кг/м ³
Группа горючести	Г2	Г1
Температура применения	95 °С	95 °С
Теплопроводность	0,041 Вт/(м·К)	0,041 Вт/(м·К)
Тип монтажа	С помощью продольного разреза и клея	С помощью ленты, клея
Цена	590,38 руб. / м.п	936,00 руб. / м ²

Теплоизоляционный материал ROCKWOOL показывает хорошее соотношение цены и качества. Цилиндры навивные ROCKWOOL являются более бюджетным вариантом по сравнению с другими вариантами теплоизоляции. При этом они обладают высокой теплоизоляционной способностью, что делает их хорошим выбором для теплоизоляции труб отопления, сохраняя тепло и обеспечивая долговечность системы.

Определим тепловые потери через ограждающие конструкции по формуле (1):

$$Q = \frac{S \cdot T}{R}, \quad (1)$$

где Q – теплопотери через ограждающую конструкцию, Вт;
 S – площадь ограждающей конструкции, м²;
 R – сопротивление теплопередаче, (м²·С / Вт);
 T – разница температур снаружи и внутри помещения, °С.

Рассчитаем теплопотери через один погонный метр навивной теплоизоляции ROCKWOOL и теплопотери через один погонный метр существующей теплоизоляции из шнура из минеральной ваты составят:

$$Q_1 = \frac{S \cdot T}{R} = \frac{1 \cdot 46}{1,93} = 23,83 \text{ Вт}$$
$$Q_2 = \frac{S \cdot T}{R} = \frac{1 \cdot 46}{1,34} = 34,32 \text{ Вт}$$

Разница теплопотерь между теплоизоляции из шнура из минеральной ваты и навивной теплоизоляции ROCKWOOL: $Q_{\Delta} = Q_2 - Q_1 = 34,32 - 23,83 = 10,50 \text{ Вт}$

Произведен расчет нормируемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_0^{\text{норм}}$ для медицинского учреждения, находящегося в г. Санкт-Петербург, на основании пункта 5 [13], где градусо-сутки отопительного периода (°С·сут/год) составят 5197 (°С·сут)/год. Определены значения требуемого и нормируемого сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{тп}}$ 3,21 (м²·°С)/Вт; $R_0^{\text{норм}} = 3,21$ (м²·°С)/Вт. Из этого следует, что приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций медицинских организаций должно быть не меньше нормируемого значения, равного 3,21 (м²·°С)/Вт.

Ограждающие конструкции медицинской организации выполнены из силикатного кирпича, толщина стены 510 мм (коэффициент теплопроводности равен 0,56 Вт/(м·°С)). С учетом этого термическое сопротивление конструкции будет равно $R_0 = 1,11$ (м²·°С)/Вт

В ходе исследования были определены универсальные виды теплоизоляционных материалов для утепления стеновых ограждающих конструкций, они представлены в табл.5, где все материалы относятся к негорючей группе.

Таблица 5. Виды теплоизоляционных материалов

Table 5. Types of thermal insulation materials

№ п/п	Теплоизоляционный материал	теплопроводность ($\lambda_{\text{ут}}$), Вт/(м·°С)	Плотность, кг/м ³	Цена утеплителя за 1м ² , руб.
1	ISOROC Ультралайт Л, 1000х600х100 мм	0,038	33	485
2	ISOVER Классик Плюс, 1170х610х100мм	0,037	13,5	289
3	ROCKWOOL Лайт Баттс, 1000х600х100 мм	0,036	35	615
4	PAROC eXtra Light, 1200х600х100 мм	0,038	25	350
5	URSA Универсальный, 1250х600х100 мм	0,036	30	435
6	ЭКОБЕР Лайт 45, 1000х600х100 мм	0,035	45	625

Для утепления фасада объекта здравоохранения, наиболее подходящим утеплителем будет ISOVER Классик Плюс. Несколько причин, обосновывающих этот выбор:

1. Качество изоляции: ISOVER Классик Плюс имеет высокую теплоизоляционную способность, что позволит эффективно сохранять тепло внутри здания, обеспечивая комфортную температуру в помещениях.

2. Пожаробезопасность: ISOVER Классик Плюс является негорючим материалом, что особенно важно для безопасности пациентов в больнице.

3. Устойчивость к влаге: материал обладает хорошей устойчивостью к воздействию влаги, что поможет избежать возможных проблем с грибками и плесенью.

4. Долговечность: ISOVER Классик Плюс имеет длительный срок службы и не подвержен деформациям, что обеспечивает надежную защиту и теплоизоляцию фасада больницы на продолжительное время.

В качестве дополнительного слоя теплоизоляционного материала, принимаем плиты минераловатные на основе стекловолокна ISOVER Классик Плюс (теплопроводность равна 0,037 Вт/(м·°С)).

Требуемая толщина утеплителя ($\delta_{\text{ут}}^{\text{тп}}$), которая обеспечит требуемое термическое сопротивление ограждающей конструкции [14, 15], определяется по формуле (7):

$$\delta_{\text{ут}}^{\text{тп}} = \lambda_{\text{ут}} \cdot R_{\text{ут}}^{\text{тп}} \quad (7)$$

где: $\lambda_{\text{ут}}$ – коэффициент теплопроводности рассматриваемого утеплителя (значения этих показателей – справочные).

Фасады. Расчет основных показателей эффективности предлагаемого проекта приведен в таблице 6. Расчет денежных потоков выполнен на 10 лет. Для сопоставимости чистых денежных потоков в различные годы произведено дисконтирование при ставке дисконта 15%. Общая стоимость – 589 руб. Материал – 289 руб. СМР – 300 руб. Ключевые показатели предлагаемого проекта подтверждают его высокую эффективность. ЧДД – 2 642,87 руб. Индекс рентабельности – 3,47 Срок окупаемости – 1,3 года. ВНД – 79,94%.

ВЫВОДЫ

Разработка рекомендаций для объектов социальной инфраструктуры является необходимым шагом для повышения энергоэффективности [16-18]. На основании данных, полученных в ходе исследования, были предложены рекомендации по повышению энергоэффективности ограждающих конструкций и инженерных систем объектов социальной инфраструктуры:

1. Для повышения энергоэффективности объектов социальной инфраструктуры и улучшения теплоизоляции зданий рекомендуется проведение энергоаудита и тепловизионного обследования. Энергоаудит позволяет систематически и комплексно проанализировать энергопотребление объекта, выявить неэффективные процессы и системы, определить основные источники потерь энергии. Проведение энергетического аудита социальных объектов предоставляет детальную информацию о текущем состоянии энергетического оборудования и сетей. Это позволяет выделить потенциал для сокращения затрат на энергоресурсы, разработать эффективную программу по энергосбережению и способствовать устойчивому развитию жилищного хозяйства и других отраслей экономики в области энергетики.

2. Для эффективного утепления труб отопления рекомендуется использовать теплоизоляционный материал из минеральной ваты ROCKWOOL с наименьшим показателем теплопроводности. Это бюджетное решение, которое подходит для социального объекта, так как обладает наилучшим сочетанием цены и качества.

3. Для утепления фасадов социального объекта подходящим выбором будет использование ISOVER Классик Плюс, так как требуется минимальная толщина утеплителя.

4. Теплоизоляция труб имеет наибольший срок окупаемости 8,5 лет по сравнению с другими предложенными мероприятиями. Длительный срок окупаемости связан с относительно низкой экономией тепловой энергии. Утепление фасадов имеет наименьший срок окупаемости 1,3 года среди предложенных мероприятий по улучшению энергоэффективности здания. Это связано с относительно низкими затратами на утепление фасадов и высокой экономией тепловой энергии.

В соответствии с проведенными исследованиями, энергосберегающие меры считаются эффективными для зданий возрастом более 40 лет, если срок окупаемости не превышает 10-15 лет. Для расчета окупаемости учитываются средства, сэкономленные за счет уменьшенного потребления энергоресурсов после принятых мер по повышению энергетической эффективности. Для эффективного энергосбережения процент экономии энергоресурсов от реализации мероприятий должен составлять не менее 10%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация предложенных мер по повышению энергетической эффективности сооружений социальной сферы позволит:

- Обеспечить экономию потребления энергоресурсов, на которую направлены внедренные мероприятия;
- Уменьшить финансовые затраты на оплату энергетических ресурсов;
- Обеспечить окупаемость инвестиций в реализацию программ по повышению энергоэффективности в заданный период;
- Повысить уровень обслуживания инженерных систем;
- Создать комфортные условия для людей;
- Гарантировать необходимый микроклимат всех помещений медицинского учреждения;
- Повысить класс энергетической эффективности здания.

В результате анализа определены проблемы, которые могут помешать запланированному уменьшению энергоемкости: отсутствие мотивации, недостаток информации, финансовые ограничения, организационные сложности и отсутствие ясной методологии формирования платежей за потребленные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Благодер Т.П., Жорина В.С., Бацунова М.О. Экономическая эффективность использования энергосберегающих окон при строительстве жилых зданий // Экономическая политика и ресурсный потенциал региона: Сборник научных статей VI Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 18 апреля 2023 года. Брянск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный инженерно-технологический университет", 2023. С. 69-72.
2. Koriakovtseva T.A. Dontsova A.E. Nemova D.V. Mechanical and Thermal Properties of an Energy-Efficient Cement Composite Incorporating Silica Aerogel. Buildings. 2024. 14. 1034. <https://doi.org/10.3390/buildings14041034>
3. Чернов С.С. Факторный анализ энергоэффективности экономики Новосибирской области // Инновации. 2015. № 1 (195). С. 103-107.
4. Кашапов И.И., Зиганшин Б. Г. Обзор показателей энергетической эффективности // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 2(23). С. 19-24.
5. Арефьев Н.В., Можаяев Е.Е. Экономический анализ эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия и повышение энергетической эффективности объекта // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 1(111). С. 12-14.
6. Мелькумов В. Н. Кочетов Р.Л. Энергоаудит как основа планирования санации объектов социальной сферы // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2014. № 4(36). С. 74-83.
7. Zaborova D.D., Strelets K.I., Bonivento Bruges J., Asylgaraeva M.I., de Andrade Romero M., Steffan C. Engineering solutions for the social housing, integrated into urban environment. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 4(80). Pp. 104–118. doi: 10.18720/MCE.80.10
8. Ватин Н. И. Гамаюнова О.С. Немова Д.В. Проведение энергоаудита детских садов с целью повышения энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9(24). С. 71-83.
9. Созинов А.В., Кольчугина Ю.Ю., Созинова Т.Е., Никифоров И.А. Проведение термографического обследования ограждающих конструкций административного здания // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XIX Бенардосовские чтения): Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 175-летию со дня рождения Н.Н. Бенардоса, Иваново, 31 мая – 02 июня 2017 года. Том II. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2017. С. 224-227.
10. Дацюк Т.А., Гримитлин А.М., Аншукова Е.А. Оценка показателей энергоэффективности зданий // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 5(70). С. 141-145.
11. Загидуллин М.Р., Гамаюнова О.С. Повышение энергетической эффективности ограждающих конструкций социальных объектов // Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции, Часть 2. 2024. С. 161-164.
12. Strelets, K.; Zaborova, D.; Serbin, I.; Petrochenko, M.; Zavodnova, E. Analysis of Microclimatic Comfort Conditions in University Classrooms. Sustainability 2024, 16, 3388. <https://doi.org/10.3390/su16083388>
13. Копец К.К. Токарь Д.Э. Эффективная теплоизоляция трубопроводов // Актуальные проблемы развития городов: Сборник статей по материалам открытой VI международной очно-заочной научно-практической конференции молодых ученых и студентов, Макеевка, 19 мая 2022 года. Макеевка: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2022. С. 345-349.
14. Zubarev K. Reducing the thickness of the insulation layer of building walls based on the study of their temperature and moisture regime // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 412. No. 05003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341305003>
15. Авсеенко А.И., Шуневич Н.А., Вяльдин Д.М., Султанов Т.Н. Проблемные вопросы формирования нормативной базы в области энергосбережения и повышения энергоэффективности объектов Министерства обороны российской Федерации // Современные направления в строительстве и эксплуатации зданий и сооружений: Сборник научных трудов. Том Выпуск 2. Санкт-Петербург: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2019. С. 123-130.
16. Абдуллин А.А., Якпунова Р.У., Толстых А.В. Процессы теплопереноса в неоднородных узлах ограждающих конструкций // Инженерные исследования. 2023. №3 (13). С. 33-43. EDN: TCNCVP.
17. Zubarev K., Timofeeva M. Special aspects of calculation of infiltration in residential and public buildings // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 389. No. 06001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338906001>
18. Zubarev K., Zobnina Y. Methods of achieving energy efficiency in buildings and their evaluation // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 389. No. 06025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338906025>

ОБ АВТОРАХ

Марсель Рафаэлевич Загидуллин – магистрант. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: zagidullin.mr@edu.spbstu.ru

Ольга Сергеевна Гамаюнова – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

Татьяна Александровна Коряковцева – к.т.н., доцент Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: tamusorina@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Marsel R. Zagidullin – Master's student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: zagidullin.mr@edu.spbstu.ru

Olga S. Gamayunova – Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

Tatiana A. Koriakovtseva – PhD, Associate professor of the Higher School of Hydrotechnical and Energy Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: tamusorina@mail.ru