

Разработка и оценка меро- приятий по повы- шению энерго- эффективности на примере обще- ственного здания в г. Екатеринбург

Рецензия эксперта на статью получена
15.04.2026 [The expert review of the article
was received on April 15, 2026]

Энергосбережение представляет собой комплекс мер, реализуемых на государственном и корпоративном уровнях и направленных на сокращение потерь и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на всех этапах (от добычи до утилизации). Актуальность повышения энергоэффективности обусловлена комплексом глобальных вызовов: ростом цен на энергоресурсы и увеличением мирового энергопотребления, а также необходимостью противодействия изменению климата на планете через снижение выбросов парниковых газов.

Согласно исследованиям А. С. Горшкова [1], энергоэффективность в строительстве требует сбалансированного подхода, который оптимизирует затраты на утепление конструктивных элементов здания в сравнении с будущим снижением затрат на отопление для достижения экономической целесообразности, а не просто максимизирует толщину утепления. В статье также говорится о том, что значительная часть энергии теряется из-за «мостиков холода» и недостаточного сопротивления теплопередаче стен и окон. Также утверждается, что снижение энергопотребления невозможно без автоматизации систем отопления и вентиляции.

В работе С. Н. Осипова, А. В. Захаренко и Е. М. Широковой [2] рассматриваются вопросы повышения энергоэффективности систем кондиционирования воздуха. Авторы показывают, что применение ламинарных воздушных потоков и оптимизация режимов воздухообмена позволяют существенно снизить энергозатраты, при этом подчёркивается необходимость комплексного подхода к проектированию систем отопления, вентиляции, водоснабжения и канализации.

В статье В. М. Якубсона [3] рассматриваются проблемы энергоэффективности ограждающих конструкций зданий. Отмечается, что фактическое энергопотребление нередко превышает проектные значения (до 60 % и более), что связано с недостаточной эффективностью проектных решений и слабым контролем при вводе объектов в эксплуатацию. Подчёркива-

Согласно исследованиям А. С. Горшкова [1], энергоэффективность в строительстве требует сбалансированного подхода, который оптимизирует затраты на утепление конструктивных элементов здания в сравнении с будущим снижением затрат на отопление для достижения экономической целесообразности, а не просто максимизирует толщину утепления

ется необходимость совершенствования нормативной базы и её гармонизации с международными стандартами (ISO), поскольку действующие нормы не обеспечивают требуемый уровень энергоэффективности. Особое внимание уделяется ограждающим конструкциям как основному источнику теплопотерь; ключевыми мерами являются повышение теплоизоляции, устранение мостиков холода и контроль качества материалов.

В статье М. В. Колосова, А. Ю. Липовка и Ю. Л. Липовка [4] рассматриваются вопросы повышения энергоэффективности зданий на основе систем мониторинга теплопотребления.

УДК 697. Научная специальность: 2.1.3.

Разработка и оценка мероприятий по повышению энергетической эффективности на примере общественного здания в г. Екатеринбург

Михаил Дмитриевич Брюхов, магистрант, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ, г. Екатеринбург); **Екатерина Петровна Шароварова**, доцент, кафедра промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости, Институт строительства и архитектуры (ИСА) УрФУ; **Никита Игоревич Фомин**, к.т.н., доцент, директор Института строительства и архитектуры (ИСА) УрФУ

В статье рассмотрены вопросы повышения энергетической эффективности общественных зданий в условиях глобального роста энергопотребления и необходимости минимизации экологического следа. В работе проведён анализ технико-экономических и теплотехнических показателей объекта, по результатам которых предложен комплекс мер, направленных на оптимизацию потребления ресурсов системами отопления и вентиляции. Особое внимание уделено оценке эффективности предлагаемых решений и их влиянию на снижение эксплуатационных расходов. Результаты исследования имеют практическую значимость для применения с целью обеспечения устойчивого развития и улучшения экологической обстановки.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, общественные здания, теплотехнические показатели, эксплуатационные расходы, экологический след, строительство.

UDC 697. Scientific specialty number: 2.1.3.

Development of comprehensive energy efficiency measures for the public building in Yekaterinburg

Mikhail D. Bryukhov, Master's student, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin (UrFU, Yekaterinburg); **Ekaterina P. Sharovarova**, Associate Professor, Department of Industrial, Civil Construction and Real Estate Expertise, Institute of Construction and Architecture (ICA) of UrFU; **Nikita I. Fomin**, PhD (Engineering), Associate Professor, Director of the Institute of Construction and Architecture (ICA) of UrFU

This article examines issues related to improving the energy efficiency of public buildings in the context of rising global energy consumption and the need to minimize the environmental footprint. The study analyzes the technical, economic, and thermal performance indicators of the facility, based on which a set of measures is proposed to optimize resource consumption by heating and ventilation systems. Particular attention is paid to evaluating the effectiveness of the proposed solutions and their impact on reducing operating costs. The results of the study have practical significance for use in promoting sustainable development and improving the environmental situation.

Key words: energy efficiency, energy conservation, public buildings, thermal performance indicators, operating costs, environmental footprint, construction.

Авторы отмечают, что одной из ключевых проблем является расхождение между расчётными и фактическими значениями теплопотребления зданий, что может приводить к некорректной оценке эффективности энергосберегающих мероприятий. В работе [4] предложена система мониторинга, основанная на использовании компьютерного моделирования и геоинформационных технологий, позволяющая в реальном времени анализировать теплопотребление зданий и выявлять неэффективные режимы работы систем теплоснабжения. Подчёркивается, что внедрение подобных систем позволяет повысить точность оценки энергоэффективности, оптимизировать эксплуатационные режимы и снизить избыточное потребление тепловой энергии.

В статье П. Сормунена [5] рассматриваются современные подходы к повышению энергоэффективности зданий на примере Финляндии. Автор отмечает, что здания являются одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов (до 40 %), в связи с чем повышение их энергоэффективности рассматривается как ключевое направление экологической политики. В работе показано, что ужесточение нормативных требований приводит к существенному снижению энергопотребления зданий (на 30–40 % и более), при этом особое внимание уделяется переходу к учёту полного энергобаланса и использованию первичной энергии.

В статье С. В. Гужова, А. А. Арбатского и др. [6] рассматриваются вопросы повышения эффективности автоматизированных систем управления приточно-вытяжной вентиляцией. Авторы отмечают, что эффективность систем вентиляции во многом определяется качеством автоматического регулирования параметров приточного воздуха, в частности, температуры и влажности. Неправильная настройка или отсутствие автоматизации приводит к избыточному энергопотреблению и снижению комфортности микроклимата в зданиях.

В вышеуказанной работе предложена модернизация системы вентиляции с использованием цифровых регуляторов, расширенного набора датчиков и внедрения секции увлажнения воздуха. Показано, что применение автоматизированных систем управления позволяет обеспечить устойчивое поддержание заданных параметров и повысить энергоэффективность эксплуатации здания.

За последние 20 лет (2005–2025 годы) средние потребительские цены на электроэнергию в РФ для населения выросли более чем в 4,5 раза, на отопление — бо-

лее чем в 2,5 раза, на горячее водоснабжение — почти в 4,0 раза, значительно опережая средние темпы инфляции в отдельные периоды [7]. Основной рост пришёл на этапы рыночного реформирования отрасли и недавние годы (2022–2025). Следовательно, необходимы меры по повышению энергоэффективности, что приведёт к снижению затрат на потребление энергоресурсов.

Демографический фактор [8] оказывает дополнительное влияние на спрос на ресурсы. В связи с этим растёт и энергопотребление, увеличивается количество вредных выбросов, в том числе парниковых газов [9].

За последние 20 лет средние потребительские цены на электроэнергию в России для населения выросли более чем в 4,5 раза, на отопление — более чем в 2,5 раза, на ГВС — почти в 4,0 раза

Теплотехнические расчёты и оценка показателей энергоэффективности здания

1. Архитектурно-планировочные решения, технико-экономические показатели здания. Для оценки показателей энергоэффективности было выбрано пятиэтажное общественное здание суда в городе Екатеринбурге. В качестве примера для расчётов будет рассматриваться отдельно Блок Б в осях 26–156, пятиэтажное здание с общей площадью 10687 м².

2. Теплотехнические расчёты всех фрагментов теплозащитной оболочки здания с учётом неоднородностей. Определение расчётных удельных характеристик здания, его энергопотребление. Расчётные характеристики приняты по Приложению М СП 50.13330.2024 [10] и на основании данных производителей материалов. Весь дальнейший расчёт выполнялся с учётом требований: СП 50.13330.2024 [10], СП 118.13330.2022 [11], СП 131.13330.2020 [12], СП 230.1325800.2015 [13], СП 345.1325800.2017 [14].

Для типов стен С1, С2, С4 и С6 были учтены три неоднородности: плоский элемент, что соответствует самой стене, и два линейных, окна и углы. Для типов стен С3 и С5 были учтены две неоднородности: плоский элемент и линейный, так как у данных типов стен отсутствуют окна.

Для кровли учтены две неоднородности: плоский элемент, сама плита, а также линейный элемент, перфорация плиты, учёт узла сопряжения стены с плитой.

Из всех полученных расчётных значений для стен самый низкий коэффициент теплотехнической однородности оказался: $r = 0,89$ с $R_{0}^{np} = 4,99$ м²·°C/Вт. Для кровли: $r = 0,63$ и $R_{0}^{np} = 4,34$ м²·°C/Вт. Пол по грунту: $R_{0}^{np} = 8,06$ м²·°C/Вт. Стена в грунте: $R_{0}^{np} = 2,76$ м²·°C/Вт.

Далее был проведён расчёт всех необходимых коэффициентов и показателей, необходимых для определения класса энергоэффективности здания, все результаты были отражены в паспорте здания, соответствующие таблицы приведены в данной статье ниже.

Далее приведены вспомогательные показатели для расчётов, рассчитанные удельные характеристики здания, комплексные показатели расхода тепловой энергии и энергетические нагрузки здания:

- $K_{общ} = 0,317$ Вт/(м²·°C) — общий коэффициент теплопередачи здания;
- $n_b = 2,808$ ч⁻¹ — средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период при удельной норме воздухообмена;
- $q_{быт} = 95,789$ Вт/м² — удельные бытовые тепловыделения в здании;
- $C_{тепл} = 3$ руб/кВт·ч — тарифная цена тепловой энергии для проектируемого здания;
- $k_{об} = 0,059$ Вт/(м³·°C) — удельная теплозащитная характеристика здания (тр. 0,155);
- $k_{вент} = 0,318$ Вт/(м³·°C) — удельная вентиляционная характеристика здания;
- $k_{быт} = 0,574$ Вт/(м³·°C) — удельная характеристика бытовых тепловыделений в здании;
- $k_{рад} = 0,031$ Вт/(м³·°C) — удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации;
- $K_{эф} = 0,65$ — коэффициент эффективности рекуператора;
- $q_o^{TP} = 0,138$ Вт/(м³·°C) — расчётная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период;
- $q_{от}^{TP} = 0,313 \times 0,6 = 0,188$ Вт/(м³·°C) — нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период;
- C (повышенный) — класс энергетической эффективности;
- $q = 74,02$ кВт·ч/(м²·год) — удельный расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период;
- $Q_{от}^{год} = 796\,493$ кВт·ч/год — расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период;
- $Q_{общ}^{год} = 2\,179\,276$ кВт·ч/год — общие теплотери здания за отопительный период.

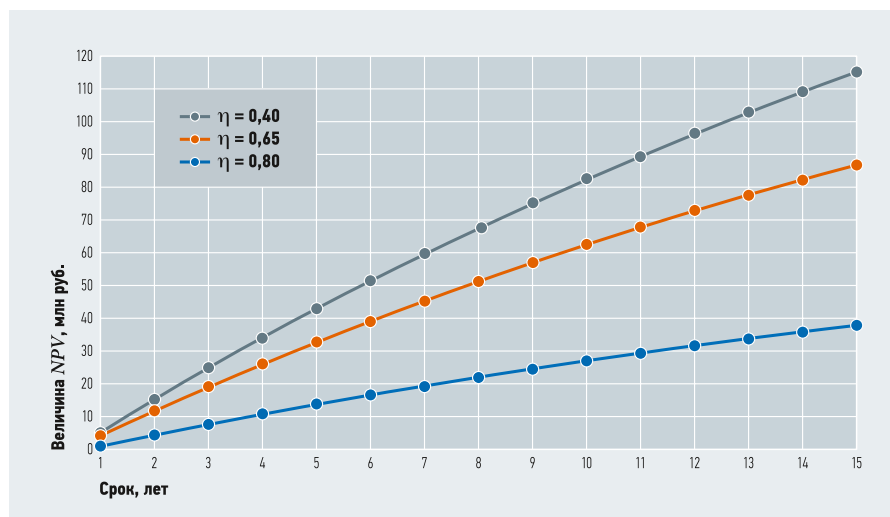


Рис. 1. Зависимости NPV от срока эксплуатации для разных рекуператоров

Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии снижена на 40 %, согласно приказу Минстроя России №1550/пр [15], для вновь создаваемых зданий предусмотрено поэтапное снижение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию.

С учётом того, что расчёт выполняется на 2026 год, в настоящее время действует требование о снижении данного показателя на 40 % по сравнению с базовыми нормативными значениями. С учётом приказа Минстроя России №399/пр. [16] был установлен класс энергоэффективности С (повышенный).

Оценка влияния предлагаемых мероприятий на энергетическую эффективность общественного здания в г. Екатеринбург

В рамках исследования рассмотрен комплекс мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности общественного здания:

1. Установка рекуператора в системе приточно-вытяжной вентиляции. Данное мероприятие позволяет снижать теплопотери на вентиляцию. В работе рассмотрены варианты с различными коэффициентами эффективности рекуператора: $\eta = 0,4$; $\eta = 0,65$; $\eta = 0,9$.

2. Изменение ориентации фасадов здания по сторонам света. Предусматривается оптимальное размещение оконных проёмов по фасадам, преимущественно с ориентацией на восточную, южную, юго-восточную и юго-западную стороны, что способствует дополнительному снижению тепловых нагрузок.

3. Толщина утеплителя ограждающих конструкций. Повышение сопротивления теплопередаче наружных стен достигается за счёт увеличения толщины теплоизоляционного слоя. В работе рассмотрены варианты толщины утеплителя: 100, 150, 200 и 250 мм.

4. Установка терморегуляторов в системе отопления. Применение терморегуляторов обеспечивает возможность индивидуального регулирования температуры в помещениях, а также автоматическое снижение температуры в нерабочее время, что позволяет снизить избыточное потребление тепловой энергии.

Все вышеперечисленные мероприятия будут рассмотрены далее более детально, с оценкой их энергоэффективности и с точки зрения инвестиционных затрат.

Для оценки влияния различных мероприятий, направленных на повышение энергетической эффективности, предлагается рассмотреть следующее:

1. Здание оборудовано рекуператорами. Рекуператоры позволяют использовать вторичную теплоту. Обычно они забирают тепло у тёплого воздуха, который выводится из помещения, и отдают его холодному свежему воздуху, поступающему с улицы. Рекуператор в расчёте влияет на коэффициент удельной вентиляционной

характеристики здания, соответственно, далее будет акцентировано внимание именно на нём, а также на итоговом расходе тепловой энергии для выявления класса энергоэффективности здания.

Проведём анализ для случаев:

1.1. Рекуператор с коэффициентом эффективности 0,4. Предлагается вариант с заменой рекуператоров с коэффициентом 0,65 на 0,4, они более дешёвые и далее необходимо выяснить, как это повлияло бы на энергоэффективности здания и экономическую часть проекта.

Рекуператоры в системе вентиляции позволяют использовать вторичную теплоту. Рекуператор в расчёте влияет на коэффициент удельной вентиляционной характеристики здания

В случае замены расходы на отопление увеличились бы на 50 %. Тогда расчётный коэффициент:

$$k_{\text{вент},0,4} = 0,535 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}).$$

И в итоге расчётная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию:

$$q_{0,4}^{\text{TP}} = 0,355 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

что сразу ставит зданию класс энергоэффективности G (очень низкий).

1.2. Рекуператор с коэффициентом эффективности 0,8. Рекуператор с таким коэффициентом будет ещё более затратным, но и более результативным:

$$k_{\text{вент},0,8} = 0,187 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}), \\ q_{0,8}^{\text{TP}} = 0,02 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

что сразу ставит зданию класс энергоэффективности A (очень высокий).

Экономия и чистая приведённая стоимость (Net Present Value, NPV) были рассчитаны (для сравнения) для варианта, когда здание не имеет рекуператоров.

При сравнении всех вариантов с различными коэффициентами рекуперации было установлено, что применение рекуператора с коэффициентом 0,8 является экономически целесообразным, несмотря на более высокие капитальные затраты (табл. 1, рис. 1).

Следовательно, применение рекуператора с коэффициентом $\eta = 0,8$ является предпочтительным вариантом с точки зрения инвестиционной эффективности, хотя сроки окупаемости в данном случае чуть больше, чем для случая с рекуператором с коэффициентом 0,65.

Сравнительная оценка рекуператоров

табл. 1

Показатель / КПД рекуператора	$\eta = 0,40$	$\eta = 0,65$	$\eta = 0,8$
$k_{\text{вент}}$, Вт/(м ³ ·°C)	0,535	0,318	0,187
$q_{0,\eta}^{\text{TP}}$, Вт/(м ³ ·°C)	0,355	0,138	0,010
Экономия, руб/год	3 014 780	6 783 256	9 044 341
Стоимость, млн руб.	2,0	3,0	4,5
Срок окупаемости, лет	0,66	0,44	0,50
Величина NPV (15 лет), млн руб.	31,5	72,4	96,1
Класс энергоэффективности	G	C	A

2. Оптимальное расположение относительно сторон света. Данное расположение позволяет охватить максимальное количество фасадов здания — это стороны южная, южно-восточная, северо-восточная, южно-западная, где происходят теплопоступления через окна от солнечной радиации (табл. 2, рис. 2).

В том случае, если бы здание находилось перпендикулярно востоку и западу, то теплопоступления снизились бы на 55 %:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{год}} = 288\,200 < 645\,441 \text{ МДж/год.}$$

При пересчёте в таком случае мы получили бы меньшие теплопоступления, чем если бы здание оставалось в прежнем положении. Тогда:

$$k_{\text{рад}} = 0,014 \text{ Вт/(м}^3\cdot\text{°C)},$$

$$q_{\text{о}}^{\text{ТР}} = 0,144 > 0,138 \text{ Вт/(м}^3\cdot\text{°C)}.$$

Разница с прежним вариантом посадки здания кажется не такой великой, но при правильном подходе эта разница в 5 % может сэкономить ощутимое количество средств.

Данная разница помогла бы экономить дополнительные 107 тыс. руб. в год.

3. Толщина утеплителя. Во всех стенах на данный момент, за исключением С5, толщина составляет 150 мм. Однако необходимо проанализировать и вычислить,

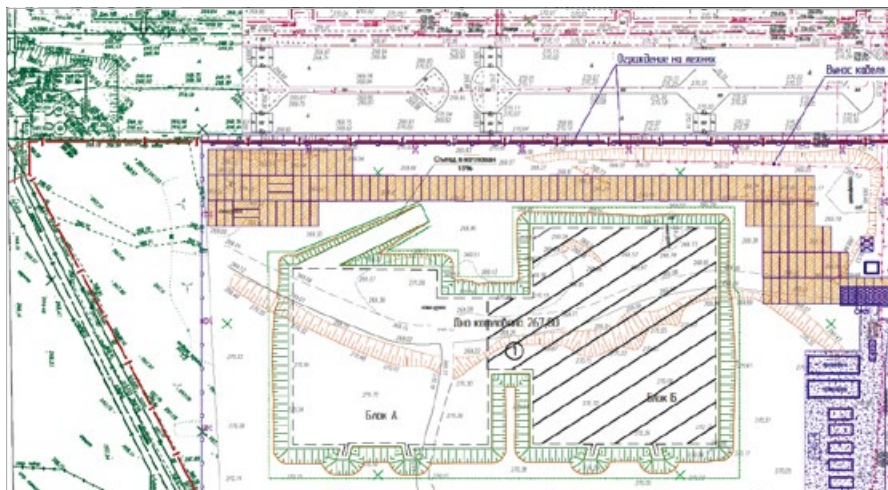


Рис. 2. Расположение здания по сторонам света

Сравнение вариантов ориентации здания по сторонам света

табл. 2

Показатель / стороны света, куда попадает солнце	СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ (первонач. положение)	СВ, ЮЗ
$k_{\text{рад}}$, Вт/(м ³ ·°C)	0,031	0,014
$q_{\text{о}}^{\text{ТР}}$, Вт/(м ³ ·°C)	0,138	0,144
$Q_{\text{от}}^{\text{год}}$, кВт·ч/год	796 493	832 145
Экономия, руб/год	106 956	—
Величина NPV (30 лет), млн руб.	1,849	—

является ли данная толщина оптимальной для данных условий. Были исследованы четыре варианта толщин: 100, 150, 200 и 250 мм. Экономия и величины NPV для наглядности показаны относительно утеплителя толщиной 50 мм, результаты сведены в табл. 3 и показаны на рис. 3.

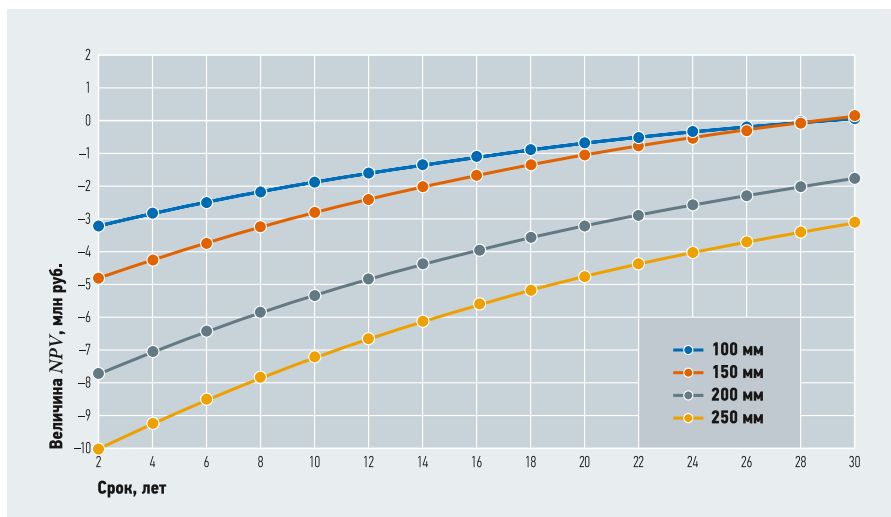


Рис. 3. Зависимости NPV от срока эксплуатации для разных толщин утеплителя

Сравнение вариантов по толщине утеплителя

табл. 3

Показатель / Толщина утеплителя, мм	100	150	200	250
$Q_{\text{общ}}$, кВт·ч/год	2 214 927	2 179 277	2 158 127	2 136 951
$q_{\text{о}}^{\text{ТР}}$, Вт/(м ³ ·°C)	0,144	0,138	0,134	0,130
Экономия, руб/год	214 650	321 600	385 050	448 578
Стоимость, млн руб.	3,619	5,429	8,445	10,858
Срок окупаемости, лет	16,9	16,9	21,9	24,2
Величина NPV (30 лет), млн руб.	+0,09	+0,13	−1,79	−3,10
Класс энергоэффективности	С	С	С	В

В результате, несмотря на снижение теплопотерь при увеличении толщины утеплителя, инвестиции растут значительно быстрее экономии. Дополнительные капитальные затраты не компенсируются получаемой экономией энергии в расчётный период.

С учётом нормативных требований в данном регионе, допустимая толщина должна быть не менее 150 мм для данного здания. Поэтому оптимальным вариантом остаётся утеплитель 150 мм. Он же является и самым благоприятным вариантом с точки зрения инвестиции.

4. Терморегуляторы и пофасадное авторегулирование на вводе. Рассматриваемое здание обязательно оборудовано терморегуляторами и пофасадным авторегулированием на вводе, что влияет на итоговый расчёт, учитывая коэффициент $K_{\text{рег}} = 0,95$.

Рассмотрены также дополнительные варианты:

4.1. Без терморегуляторов и авторегулирования на вводе, $K_{\text{рег}} = 0,6$. В таком случае расчётное значение было бы $q_{\text{о}}^{\text{ТР}} = 0,226 \text{ Вт/(м}^3\cdot\text{°C)}$, что соответствовало бы классу Е (пониженный) для здания.

4.2. С местными терморегуляторами и без авторегулирования на вводе, $K_{\text{рег}} = 0,8$. Тогда $q_{\text{о}}^{\text{ТР}} = 0,175 \text{ Вт/(м}^3\cdot\text{°C)}$, что соответствовало бы классу D (нормальный) для рассматриваемого здания.

Далее в графике и таблице приводятся расчёты NPV, экономии и окупаемости, которые для сравнения и наглядности учтены относительно варианта $K_{\text{рег}} = 0,6$.

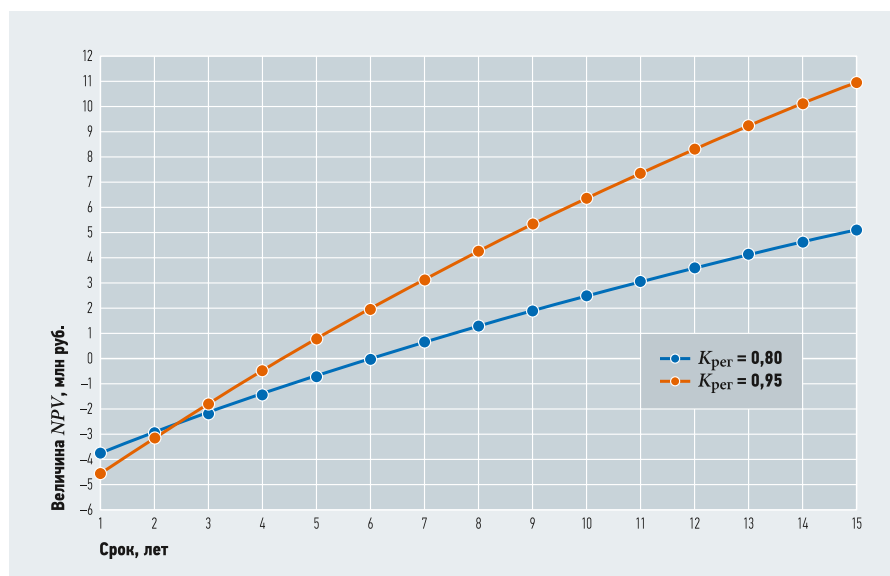


Рис. 4. График зависимости NPV от срока эксплуатации для вариантов терморегуляторов и авторегулирования на вводе

Сравнение вариантов использования терморегуляторов и авторегулирования на вводе табл. 4

Показатель / Коэфф. эффективности регулирования	K _{per} = 0,6	K _{per} = 0,8	K _{per} = 0,95
β _{кпи}	0,250	0,333	0,395
q ₀ ^{TP} , Вт/(м³·°C)	0,226	0,175	0,138
Экономия, руб/год	–	873337	1528339
Стоимость, млн руб.	2,55	4,59	6,04
Срок окупаемости, лет	–	5,26	3,95
Величина NPV (15 лет), млн руб.	–2,55	5,12	10,95
Класс энергоэффективности	E	D	C

Итоговые данные сведены в табл. 4 и показаны на рис. 4.

В данном случае для рассматриваемого здания нет смысла экономить на местных терморегуляторах и пофасадном авторегулировании на вводе, поскольку при таких инвестициях они окупятся всего за четыре года. Класс энергоэффективности также является хорошим показателем благоприятного влияния проведения данных мероприятий, с разницей в расчётных показателях в 63 %.

Фактический проект, с классом энергоэффективности С (повышенный), демонстрирует результат системного применения всех перечисленных выше решений. Ни одна отдельная мера не способна обеспечить такой результат, что доказывает необходимость целостной методики проектирования.

Заключение

В рамках данного исследования была выполнена энергетическая и экономическая оценка влияния мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности общественного здания. Ключевой отличительной чертой является не просто перечень рекомендаций, а алгоритм, основанный на принципе экономической и технической целесообразности и подтверждаемой через сравнительное энергетическое моделирование.

Проведённое исследование на примере общественного здания позволило сделать следующие выводы:

1. Критическая важность решений на этапе проектирования. Моделирование подтвердило, что без применения приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла и автоматизированного погодозависимого регулирования достижение даже нормативных показателей энерго-

эффективности очень сложно. Эти меры являются обязательной технологической основой, исключение которой приводит к падению класса здания.

2. Необходима синергия пассивных и активных стратегий. Максимальный эффект достигается при последовательной интеграции решений.

3. Доказательность и адаптивность исследования. Использование сравнительного моделирования различных сценариев в данном исследовании позволяет количественно оценить вклад каждого решения и адаптировать комплекс мер под конкретные условия.

Дальнейшим развитием данной научно-исследовательской работы может стать разработка специального алгоритма для автоматического поиска оптимального соотношения между капитальными затратами и эксплуатационной экономией

Таким образом, данное исследование поможет в обеспечении перехода к устойчивому, экономически обоснованному и ресурсосберегающему проектированию общественных зданий, что отвечает стратегическим задачам в области энергосбережения и экологии. Дальнейшим развитием работы может стать разработка специального алгоритма для автоматического поиска оптимального соотношения между капитальными затратами и эксплуатационной экономией. ●

- Горшков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал, 2010. №1. С. 9–13.
- Осипов С.Н., Захаренко А.В., Широкова Е.М. Об энергоэффективности кондиционирования воздуха в помещении // Известия вузов и энергетических объединений СНГ. Энергетика, 2019. №4. С. 325–340.
- Якубсон В.М. Энергоэффективность ограждающих конструкций зданий // Инженерно-строительный журнал, 2014. №8. С. 5–8.
- Колосов М.В., Липовка А.Ю., Липовка Ю.Л. Система мониторинга теплотребления зданий // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов, 2024. Т. 335. №7. С. 206–220.
- Сормунен П. Энергоэффективность зданий. Ситуация в Финляндии // Инженерно-строительный журнал, 2010. №1. С. 7–8.
- Гужов С.В., Арбатский А.А., Крылова Е.В., Белякова В.А., Сорокина А.О. Повышение эффективности автоматизированной системы управления вентиляцией здания общежития 6000 м² с ИТП // Журнал СОК, 2026. №1. С. 112–114.
- Средние потребительские цены на отдельные виды товаров и услуг по Российской Федерации [Электр. ресурс]. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Режим доступа: rosstat.gov.ru. Дата обращения: 20.03.2026.

- World population growth [Электр. ресурс]. Our World in Data. Режим доступа: ourworldindata.org. Дата общ.: 20.01.2025.
- Carbon dioxide and other greenhouse emissions [Электр. ресурс]. Our World in Data. Режим доступа: ourworldindata.org. Дата общ.: 20.01.2025.
- СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий [Пересмотр СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий»] / Дата введ.: 16.06.2024.
- СП 118.13330.2022. Общественные здания и сооружения [СНиП 31-06–2009] (с Изм. №1–5) / Дата введ.: 20.06.2022.
- СП 131.13330.2025. Строительная климатология [взамен СП 131.13330.2020] / Дата введ.: 09.09.2025.
- СП 230.1325800.2015. Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей (с Изм. №1, 2) / Дата введ.: 30.04.2015.
- СП 345.1325800.2017. Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты (с Изм. №1, 2) / Дата введ.: 15.05.2018.
- Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений: Приказ Минстроя России от 17.11.2017 №1550/пр.
- Об утверждении методики определения класса энергетической эффективности зданий: Приказ Минстроя России от 06.06.2016 №399/пр.

References — see page 80.

Development of comprehensive energy efficiency measures for the public building in Yekaterinburg. Pp. 73–77.

Mikhail D. Bryukhov, Master's student, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin (UrFU, Yekaterinburg); **Ekaterina P. Sharovarova**, Associate Professor, Department of Industrial, Civil Construction and Real Estate Expertise, Institute of Construction and Architecture (ICA) of UrFU; **Nikita I. Fomin**, PhD (Engineering), Associate Professor, Director of the ICA of UrFU

1. A.S. Gorshkov. *Energoeffektivnost' v stroitel'stve: voprosy normirovaniya i mery po snizheniyu energopotrebleniya zdaniy* [Energy efficiency in construction: Standardization issues and measures to reduce energy consumption in buildings]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Journal of Civil Engineering]. 2010. No. 1. Pp. 9–13. [In Russian]
2. S.N. Osipov, A.V. Zakharenko, E.M. Shirokova. *Ob energoeffektivnosti konditsionirovaniya vozdukh v pomeschenii* [On the energy efficiency of indoor air conditioning]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'edineniy SNG. Energetika* [News of Higher Educational Institutions and Energy Associations of the Commonwealth of Independent States. Series: Power Engineering]. 2019. No. 4. Pp. 325–340. [In Russian]
3. V.M. Yakubson. *Energoeffektivnost' ograzhdayushchikh konstruktij zdaniy* [Energy efficiency of building enclosing structures]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Journal of Civil Engineering]. 2014. No. 8. Pp. 5–8. [In Russian]
4. M.V. Kolosov, A.Yu. Lipovka, Yu.L. Lipovka. *Sistema monitoringa teplopotrebleniya zdaniy* [Building heat consumption monitoring system]. *Izvestiya TPU. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Series: Georesource Engineering]. 2024. Vol. 335. No. 7. Pp. 206–220. [In Russian]
5. P. Sormunen. *Energoeffektivnost' zdaniy. Situatsiya v Finlyandii* [Energy Efficiency of Buildings. The Case in Finland]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Journal of Civil Engineering]. 2010. No. 1. Pp. 7–8. [In Russian]
6. S.V. Guzhov, A.A. Arbatsky, E.V. Krylova, V.A. Belyakova, A.O. Sorokina. *Povyshenie effektivnosti avtomatizirovannoy sistemy upravleniya ventilyatsiei zdaniya obshchezhitiya 6000 m² s ITP* [Improving the efficiency of the automated ventilation control system for a 6000 m² dormitory building with individual heating points]. *Zhurnal Santehnika, Otoplenie, Konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2026. No. 1. Pp. 112–114. [In Russian]
7. *Srednie potrebitelskie tseny v Rossii za period 2005–2025 godov* [Average consumer prices in Russia for the period 2005–2025]. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (Rosstat)* [Federal State Statistics Service (Rosstat)]. Web-source: rosstat.gov.ru. Access date: March 20, 2026. [In Russian]
8. World population growth. Our World in Data. Web-source: ourworldindata.org. Access date: January 20, 2025.
9. Carbon dioxide and other greenhouse emissions. Our World in Data. Web-source: ourworldindata.org. Access date: January 20, 2025.
10. SP 50.13330.2024 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 50.13330.2024]. *Teplovaya zashchita zdaniy [peresmotr SP 50.13330.2012 "SNiP 23-02-2003. Teplovaya zashchita zdaniy"]* [Thermal protection of buildings {Revision of SP The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 50.13330.2012 "The Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-02-2003. Thermal protection of buildings"}]. Date of impl.: June 16, 2024. [In Russian]
11. SP 118.13330.2022 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 118.13330.2022]. *Obshchestvennye zdaniya i sooruzheniya [SNiP 31-06-2009] (s Izm. №1–5)* [Public buildings and structures [The Building Rules & Regulations No. 31-06-2009] (with Amendments No. 1–5)]. Date of impl.: June 20, 2022. [In Russian]
12. SP 131.13330.2025 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 131.13330.2025]. *Stroitel'naya klimatologiya [SNiP 23-01-99*]* [Construction climatology [The Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-01-99*]]. Date of impl.: September 9, 2025. [In Russian]
13. SP 230.1325800.2015 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 230.1325800.2015]. *Konstruktii ograzhdayushchie zdaniy. Kharakteristiki teploekhnicheskikh neodnorodnostey (s Izm. №1, 2)* [Building enclosing structures. Characteristics of thermal inhomogeneities (with Amendments No. 1, 2)]. Date of impl.: April 30, 2015. [In Russian]
14. SP 345.1325800.2017 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 345.1325800.2017]. *Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Pravila proektirovaniya teplovoj zashchity (s Izm. No. 1, 2)* [Residential and Public Buildings. Thermal Protection Design Rules (with Amendments No. 1, 2)]. Date of impl.: May 15, 2018. [In Russian]
15. *Ob utverzhdenii trebovanij energeticheskoy effektivnosti zdaniy, stroenij, sooruzhenij* [On approval of energy efficiency requirements for buildings, structures, and facilities]. *Prikaz Ministroya Rossii ot 17.11.2017 №1550/pr.* [Order of the Ministry of Construction of Russia of November 17, 2017 No. 1550/pr]. [In Russian]
16. *Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya klassa energeticheskoy effektivnosti zdaniy* [On approval of the methodology for determining the energy efficiency class of buildings]. *Prikaz Ministroya Rossii ot 06.06.2016 №399/pr.* [Order of the Ministry of Construction of Russia of June 6, 2016 No. 399/pr]. [In Russian]