



Исследование энергоэффективности жилищного фонда для разработки технологических решений при капитальном ремонте

О.Н. Попова^{1✉}, А.А. Шошина², А.Ф. Юдина³, Т.Л. Симанкина⁴

^{1,2}Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

³Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Цель работы – исследование энергоэффективности многоквартирных домов типовых серий советской постройки и разработка перечня характеристик для совершенствования методов типизации технологических решений для планирования программ энергоэффективного капитального ремонта жилищного фонда. Проведен анализ существующих методов классификации жилищного фонда при формировании типовых пакетов технологических решений для повышения энергоэффективности при капитальном ремонте. Установлено, что для кластеризации используется ограниченный набор объемно-планировочных и конструктивных характеристик, что приводит к значительному усреднению внутри получаемых классов объектов. На основе данных журналов учета тепловой энергии проведено исследование фактического энергопотребления 183 многоквартирных домов типовых серий. Определены классы энергоэффективности для каждого из объектов. Анализ показал отсутствие явной зависимости класса энергоэффективности от серии (типа) многоквартирного дома. Целесообразно разрабатывать технологические решения на основе расширенного перечня фактических характеристик энергоэффективности (таких как потребление энергии, теплопроводность ограждающих конструкций и воздухопроницаемость) и качественных данных (включая учет заявок или результаты интервью с жильцами). Выявлено, что класс энергоэффективности домов варьируется в зависимости от изменения среднегодовой температуры наружного воздуха. Это указывает на необходимость учета погодных условий в период проведения обследования энергоэффективности зданий. Результатом исследования является рекомендованный перечень характеристик энергоэффективности зданий для выбора технологических решений и внедрения в программы энергоэффективного капитального ремонта.

Ключевые слова: жилищный фонд, класс энергоэффективности, программы капитального ремонта, типизация, пакет энергоэффективных мероприятий, технологические решения капитального ремонта

Для цитирования: Попова О.Н., Шошина А.А., Юдина А.Ф., Симанкина Т.Л. Исследование энергоэффективности жилищного фонда для разработки технологических решений при капитальном ремонте // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 97–109. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-97-109>. EDN: QYMYBQ.

Original article

Energy efficiency of housing stock for the development of technological solutions for major repairs

Olga N. Popova^{1✉}, Alyona A. Shoshina², Antonina F. Yudina³, Tatyana L. Simankina⁴

^{1,2}Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

³Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

⁴Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. This paper aims to study the energy efficiency of apartment buildings of Soviet typical construction as well as to develop a list of characteristics for improving the methods for typification of technological solutions for planning programs for energy-efficient major repairs of the housing stock. Existing methods for classifying the housing stock in the formation of standard packages of technological solutions for increasing energy efficiency during capital repairs were analyzed. A limited set of volumetric planning and design characteristics used for clustering was revealed, which leads to significant averaging within the resulting classes of objects. A study was conducted on the actual energy consumption of 183 apartment buildings of a typical series. The data for this study was obtained from heat energy metering logs. Energy efficiency classes have been defined for each of the objects. The analysis has demonstrated that there is no evident correlation between the energy efficiency class and the series (type) of the apartment building. Consequently, the development of technological solutions should be based on an extended list of actual energy efficiency characteristics, such as energy consumption, thermal conductivity of the enclosing structures, and air permeability, supplemented by qualitative data (including application records or resident survey results). It was found that the energy efficiency class of houses varies depending on the change in the average annual ambient air temperature. This indicates the need to take into account weather conditions during the period of the survey of the energy efficiency of buildings. A list of characteristics of the energy efficiency of buildings for the selection of technological solutions and implementation in energy-efficient major repair programs was developed.

Keywords: housing stock, energy efficiency class, capital repair programs, typification, package of energy-efficient measures, technological solutions for capital repairs

For citation: Popova O.N., Shoshina A.A., Yudina A.F., Simankina T.L. Energy efficiency of housing stock for the development of technological solutions for major repairs. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(1):97-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-97-109>. EDN: QYMYBQ.

ВВЕДЕНИЕ

В Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р) указано, что более половины жилых домов, построенных в советский период и ранее, характеризуются низким классом энергоэффективности (D и ниже).

Энергопотребление таких зданий превышает аналогичные показатели современных сооружений в два и более раза. Капитальный ремонт жилищного фонда является одним из основных воспроизводственных мероприятий для объектов строительства. Размер инвестиций, уже накопленных в региональных фондах капитального ремонта, превышают 2 трлн руб., а количество жилищного фонда и его разнообразие постоянно растет. Одновременно нарастают и признаки деградации, выраженные не только в физическом, но и в моральном устаревании жилья.

Основным из признаков такого устаревания является низкий класс энергоэффективности существующего жилья, что негативно сказывается не только на качестве жизни граждан, но и на экономике страны в целом. В связи с этим внедрение энергоэффективных технологий в процессе капитального ремонта представля-

ется экономически и экологически обоснованным.

В научной литературе активно исследуются и описываются различные технологии энергоэффективного ремонта.

В рамках отечественных исследований предлагаются пакеты наиболее целесообразных мероприятий, которые можно систематизировать в четыре основные группы [1–2]:

1. Повышение уровня теплозащиты ограждающих конструкций.
2. Улучшение герметичности ограждающих конструкций.
3. Модернизация инженерных систем, включая внедрение систем регулирования подачи энергоресурсов.
4. Установка возобновляемых источников энергии.

Предполагается, что комплексное применение ряда технологических решений способно обеспечить синергетический эффект.

Исследование теории и практики организационно-технологического проектирования при реализации массовых программ капитального ремонта жилищного фонда выявила два противоположных подхода к планированию:

1. Традиционный подход заключается в классификации жилищного фонда на группы однородных объектов на основе укрупнения и

усреднения характеристик объектов капитального строительства.

2. Современный подход основан на многокритериальной оценке всей совокупности количественных и качественных характеристик объектов с применением методов информационного моделирования и обратки больших массивов данных.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что энергетические характеристики зданий формируются под влиянием сложного комплекса факторов. К ним относятся физические, механические, метеорологические, поведенческие и другие аспекты [5, 6]. В связи с этим за последнее десятилетие наблюдается значительный рост количества исследований в области энергоэффективности зданий [7], особенно тех, которые посвящены информационному моделированию объектов капитального строительства как сложных систем.

Такой подход, а также применение современных инструментов обработки данных, демонстрируют целесообразность и открывают возможности для многокритериальной оценки энергоэффективности зданий [8–11].

Тем не менее, на текущий момент в России для целей планирования капитального ремонта, включая энергоэффективные мероприятия, жилищный фонд классифицируется методами укрупнения и усреднения данных. В основе этой классификации лежит ограниченный набор технических характеристик, таких как материал ограждающих конструкций, год постройки и этажность.

При этом учитывается вариативность энергопотребления зданий в зависимости от региона их расположения [2, 12].

Не принимается во внимание, что энергопотребление не может быть объяснено исключительно погодными или климатическими условиями [13–16].

Жилищный фонд в значительной степени состоит из многоквартирных домов (МКД) типовых серий, построенных в советский период. Ряд исследований подтверждает возможность укрупненной классификации таких объектов для реализации типовых энергоэффективных решений [1–2]. Этот подход основывается на гипотезе о схожей энергоэффективности групп типовых зданий.

Влияние применения различных технологий или их комбинаций на энергопотребление зданий изучено недостаточно. Имеющиеся исследования носят фрагментарный характер, что не позволяет сделать однозначных выводов. Утверждение о том, что типовые пакеты энергоэффективных решений будут одинаково

эффективны для всех типовых зданий, вызывает сомнения и требует дополнительной проверки.

Таким образом, целью данной работы является исследование энергоэффективности многоквартирных домов типовых серий советской постройки и разработка перечня характеристик для совершенствования методов типизации технологических решений для планирования программ энергоэффективного капитального ремонта жилищного фонда.

Задачи исследования:

- анализ энергоэффективности жилищного фонда советской постройки на основе фактических показателей потребления тепловой энергии и их классификации (группировки) на примере жилищного фонда г. Архангельска;

- оценка класса энергоэффективности многоквартирных домов отдельных серий советской постройки и анализ возможности типизации технологических решений для типовых объектов;

- анализ потребления тепловых ресурсов и оценка класса энергоэффективности многоквартирных домов (МКД) в зависимости от климатических факторов.

МЕТОДЫ

В качестве источника информации для формирования базы данных многоквартирных домов типовых серий, построенных в советский период с 1950-х по 1990-е г., целесообразно было бы использовать государственную информационную систему жилищно-коммунального хозяйства (ГИС ЖКХ).

Анализ данных, содержащихся в этой системе, показал, что информация о технических характеристиках объектов является некачественной. Она либо неполная, либо недостоверная. В связи с этим база данных была сформирована на основе натурного обследования жилищного фонда на примере г. Архангельска.

Следует отметить, что открытой базы данных показателей потребления тепловой энергии в настоящее время не существует. Эти сведения не входят в перечень информации, размещаемой в ГИС ЖКХ, что значительно затрудняет оценку энергоэффективности жилой застройки города.

Важным фактором успешной реализации региональных программ энергоэффективного капитального ремонта является раскрытие информации о многоквартирных домах.

Формирование общедоступных (публичных) рейтингов энергопотребления существующих зданий позволяет пользователям проводить сравнительный анализ, способствует снижению энергопотребления в отдельных типах

зданий, реализации инициатив по устойчивому развитию территорий [8, 17–22], а также служит катализатором для научных исследований.

Основными данными для исследования являются показатели потребления тепловой энергии, полученные на основе журналов учета, предоставленных управляющими организациями города.

Исследование базируется на данных годового и месячного потребления тепловой энергии многоквартирными домами типовых серий советской постройки.

Сбор показаний осуществляется в течение всего года и фиксируется в журналах учета тепловой энергии.

Определение класса энергоэффективности МКД проводится в соответствии с правилами, установленными Федеральным законом № 261 «Об энергоснабжении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г.

Сравнительный анализ класса энергоэффективности МКД отдельных серий советского периода постройки для реализации программ энергоэффективного капитального ремонта был проведен с использованием экспресс-оценки на основе программного продукта «Помощник ЭКР» (калькулятор расчета потенци-

ала экономии коммунальных ресурсов в многоквартирном доме).

Алгоритм расчета класса энергоэффективности МКД соответствует требованиям Приказа Минстроя и ЖКХ РФ от 06.06.2016 № 399/пр (глава 1.2).

При этом «Помощник ЭКР» учитывает в расчетах не только расходы на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электрообеспечение, но и типовые конструктивные особенности зданий.

Анализ потребления тепловых ресурсов и оценка класса энергоэффективности МКД в зависимости от климатических факторов заключаются в выявлении влияния погодных условий в период фактических измерений энергопотребления на определение класса энергоэффективности здания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании натурного осмотра и архивных данных проектного института «Архангельскгражданпроект» была собрана база характеристик типовых серий многоквартирных жилых домов г. Архангельска, наиболее распространенных в центральных районах города и построенных в период с 1950-х по 2000-е г. Многоквартирные дома рассматриваемых серий в совокупности составляют порядка 70 % жилищного фонда города (табл. 1).

Таблица 1. Серии типовых многоквартирных домов советского периода в г. Архангельске
Table 1. Series of typical apartment buildings of the Soviet period in Arkhangelsk

Группа зданий	«Ста- линка»	«Хрущевка» / «Бреж- невка»		«Улья- новка»	«Брежневка»	
Серия	1-410, 1-418, 1-419, 1-420, 1-428, 1-460, 1-506	1-447	1-464	1-335	114-85	93
Фотофиксация типового многоквартирного дома						
Годы строительства	1955–1962	1958–1964		1972–1985	1974–2005	1979–1990
Конструктивная схема	стеновая, перекрестная					полный каркас
Стены	керамиче- ский кир- пич (640 мм)	силикат- ный кир- пич (770 мм)	двуслойные панели из шунгизито- бетона (350 мм)	двуслой- ные па- нели из шунгизито- бетона (350 мм)	силикат- ный кир- пич (770 мм)	двуслой- ные па- нели из шунгизито- бетона (350 мм)
Перекрытия	бетонные круглопу- стотные плиты (220 мм)		сплошные железобе- тонные плиты (100 мм)	бетонные круглопустотные плиты (220мм)		

Окончание табл. 1

Группа зданий	«Ста- линка»	«Хрущевка» / «Бреж- невка»		«Улья- новка»	«Брежневка»	
Кровля	скатная с техэтажом, покрытие – асбестоце- ментный волнистый лист		плоская, сов- мещенная, покрытие – рулонная гид- роизоляция	плоская с техэтажом, покрытие – рулонная гидроизоляция		
Подвал/техэтаж	теплый	холодный				
Окна	деревянные с двойным остеклением в отдельных переплетах					
Двери наружные	металлические					
Количество этажей	5	5	5	9	9	10
Высота этажа, м	3–3,3	2,8	2,65	2,95	2,8	2,95

Расчетные проектные и фактические сопротивления теплопередачи стен домов рассматриваемых серий более чем в 2–3 раза ниже нормативных значений [22–24], что является типичным для всех серий. Согласно проектным данным и гипотезе исследования, все дома должны иметь одинаковый класс энергоэффективности.

Определен класс энергоэффективности для 183 из 1100 МКД основных типовых серий г. Архангельска. Оценка проводилась на основе показателя удельного расхода годового потребления тепловой энергии на 1 м² площади МКД, рассчитанного по данным журналов учета. Результаты представлены на графиках (рис. 1).

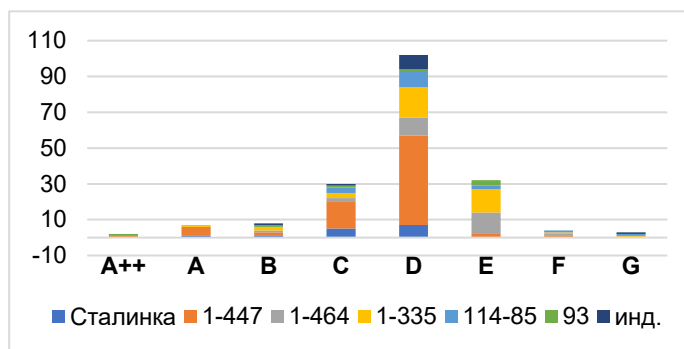
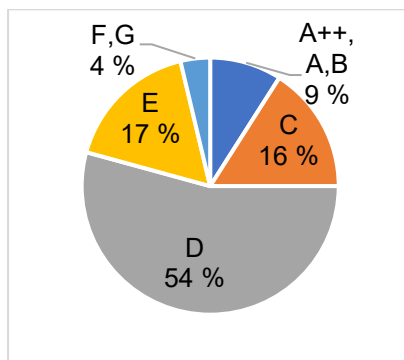


Рис. 1. Распределение многоквартирных домов по классу энергоэффективности
Fig. 1. Distribution of apartment buildings by energy efficiency class

На рис. 2 показано отклонение фактического потребления тепловой энергии от среднего значения. Анализ данных показал, что класс энергоэффективности многоквартирных домов не имеет явной зависимости от их серии (типа). Большинство обследованных объектов относятся к классу D. Исследования данной

группы зданий и анализ режимов их эксплуатации свидетельствуют о том, что дома находятся в удовлетворительном состоянии. Однако ретроспективный анализ не выявил случаев проведения комплексных энергоэффективных ремонтов. Работы носили преимущественно текущий и эпизодический характер.

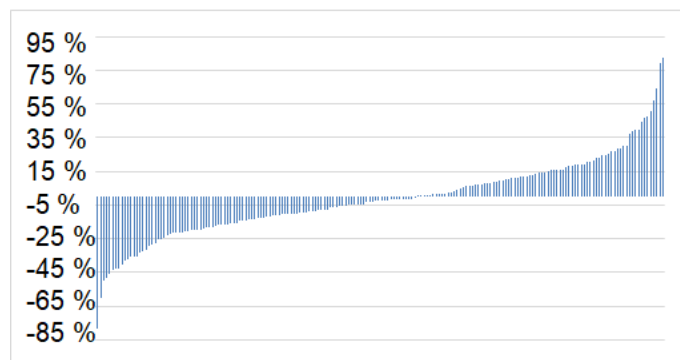


Рис. 2. Отклонение от норматива потребления
Fig. 2. Deviation from the energy consumption standard

Значительная часть многоквартирных домов (16 % от общего числа обследованных) имеет класс энергоэффективности С. Эти здания также находятся в удовлетворительном или хорошем состоянии. В некоторых случаях отмечаются отдельные мероприятия, которые можно отнести к энергоэффективному капитальному ремонту. К ним относятся, например, герметизация межпанельных швов, замена и герметизация оконных и дверных заполнений, ремонт инженерных систем, а также модернизация узлов управления системами отопления.

Небольшая часть жилищного фонда демонстрирует повышенные классы энергоэффективности (А++, А, В). Анализ журналов учета заявок жильцов этих домов выявил значительное количество жалоб на несоответствие температуры воздуха в жилых и нежилых помещениях установленным нормам. Это указывает на то, что повышенное потребление тепловой

энергии в этих зданиях связано с дефектами отопительных систем. Основной целью ремонтных работ в таких случаях является нормализация микроклимата помещений, а не снижение энергопотребления.

Исследование энергоэффективности жилищного фонда проводилось на основе анализа журналов учета тепловой энергии за различные временные периоды. В рамках изучения фактической энергоэффективности многоквартирных домов определенных серий был выполнен сравнительный анализ параметров энергопотребления для двух типов домов: серии 1-447 (с кирпичными стенами) и серии 93 (с панельными стенами). Для обеспечения достоверности результатов сравнение проводилось за одинаковый временной период, что позволило исключить влияние климатических факторов на показатели энергопотребления (табл. 2, 3).

Таблица 2. Потребление тепловой энергии на отопление и водоснабжение многоквартирных домов серии 1-447 за 2018 г., Гкал

Table 2. Thermal energy consumption for heating and hot water supply in 1-447 series apartment buildings in 2018, Gcal

Среднемесячная температура наружного воздуха, °C	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Адрес	-13	-7	-4	3	8,5	13,5	13	11,5	9,8	2	-3	-4
пр-т. Троицкий, д. 159	68,85	75,92	56,78	55,52	47,19	22,18	6,74	5,44	6,25	21,86	45,84	49,62
пр-т. Троицкий, д. 182	55,97	60,03	48,11	47,70	40,81	22,14	9,65	7,80	7,27	20,91	40,83	42,87
пр-т. Троицкий, д. 157	88,27	83,33	69,60	64,86	38,81	12,46	11,71	11,19	24,44	63,81	75,18	72,83
ул. Гагарина, д. 9	91,67	81,43	64,07	58,97	27,20	8,92	6,56	7,66	24,08	49,73	68,33	68,54
ул. Розы Шаниной, д. 6	116,71	127,31	96,25	97,95	87,46	50,18	14,81	20,45	14,81	43,73	87,51	97,38

Таблица 3. Потребление тепловой энергии на отопление и водоснабжение многоквартирных домов серии 93 за 2019 г., Гкал

Table 3. Thermal energy consumption for heating and hot water supply in 93 series apartment buildings in 2019, Gcal

Среднемесячная температура наружного воздуха, °C	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Адрес	-13	-7	-4	3	8,5	13,5	13	11,5	9,8	2	-3	-4
ул. Садовая, д. 2, корп. 1	87,92	111,40	101,28	76,49	43,18	7,33	8,70	6,73	16,12	75,57	67,67	86,44
ул. Суворова, д. 16	78,29	96,36	86,36	65,33	34,70	9,33	7,53	7,37	11,82	54,90	66,03	80,86
ул. Садовая, д. 12	167,64	209,33	184,59	141,72	79,12	24,30	34,13	19,40	32,27	118,56	138,37	175,35
пр-т. Троицкий, д. 166	114,70	140,10	125,29	94,50	52,73	13,45	11,61	11,77	18,28	76,86	89,72	109,46
ул. Вологодская, д. 1	132,26	155,63	141,25	108,75	61,84	17,66	15,77	17,76	22,79	90,16	104,65	126,99

Расчеты класса энергоэффективности для многоквартирных домов в заданном времен-

ном периоде показали противоречивые результаты.

Диаграммы потребления тепловых ресурсов с советующими рассчитанными классами

энергоэффективности МКД представлены на рис. 3 и 4.

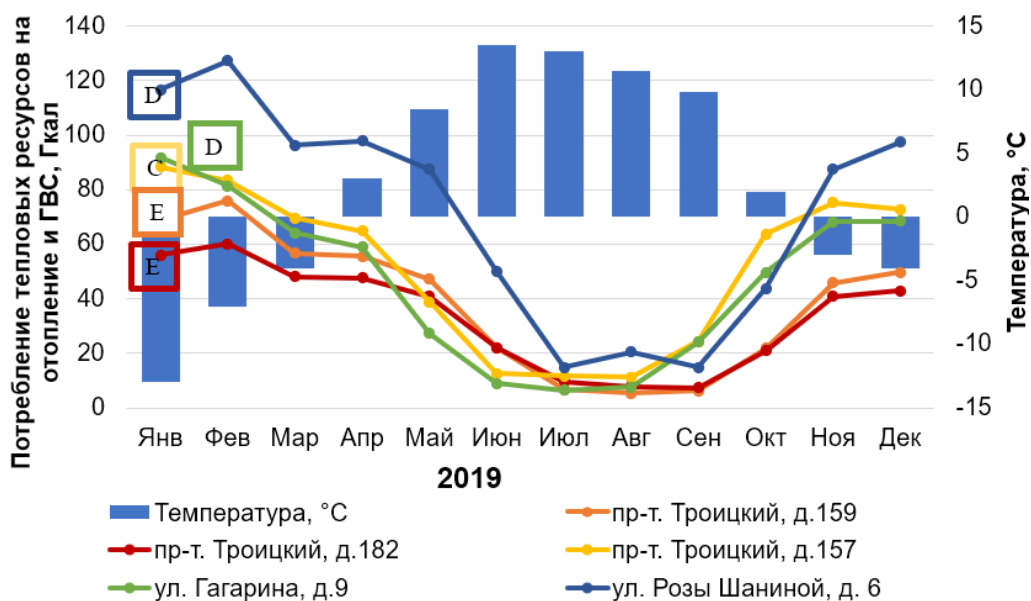


Рис. 3. Потребление ресурсов многоквартирными домами серии 93 (панельный) за 2019 г.
Fig. 3. Resource consumption in series 93 apartment buildings (panel construction) in 2019

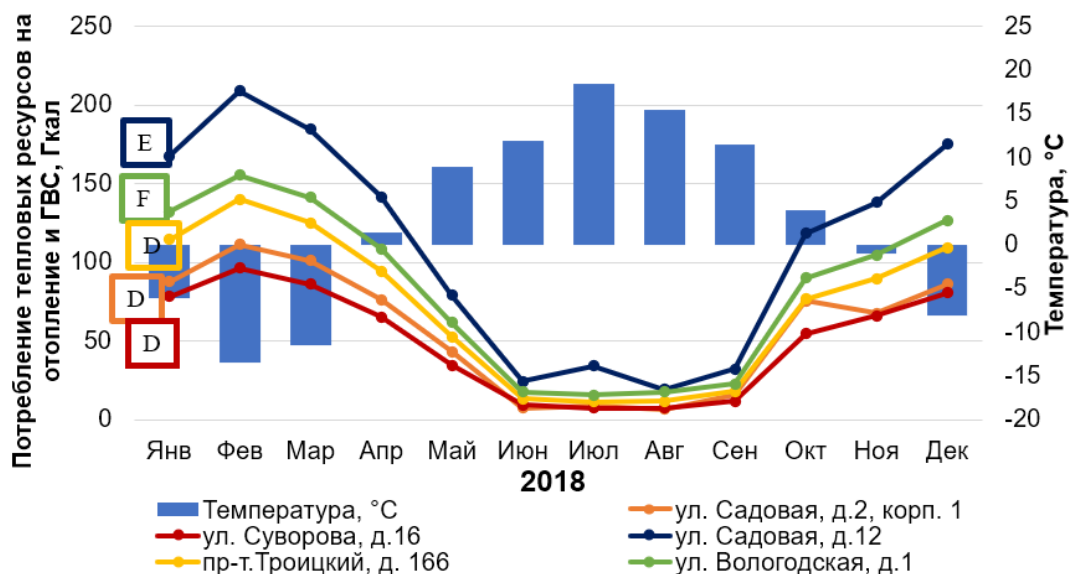


Рис. 4. Потребление ресурсов многоквартирными домами серии 1-447 (кирпичный) за 2018 г.
Fig. 4. Resource consumption in series 1-447 apartment buildings (brick construction) in 2018

Для обеих серий домов наблюдается разброс в классах энергоэффективности. Это свидетельствует о том, что типизация зданий для целей планирования энергоэффективного капитального ремонта на основе только серии и года ввода объекта в эксплуатацию невозможна.

Таким образом, подбор типового пакета энергосберегающих мероприятий для класса домов, сформированного исключительно на основании архитектурно-строительных и конструктивных характеристик, может не привести

к желаемому эффекту экономии ресурсов.

Исследование энергоэффективности жилищного фонда проводилось на основе данных журналов учета тепловой энергии за различные временные периоды.

Анализ потребления тепловых ресурсов и оценка класса энергоэффективности многоквартирных домов с учетом климатических факторов были выполнены для домов серий 93, 1-447С, 1-335 и 1-464.

Для анализа использовались данные приборов учета тепловой энергии на отопление и

горячее водоснабжение за три года (2017–2019 гг.). Среднемесячные температуры за указанный период были определены на основе архивных данных гидрометцентра.

Результаты оценки зависимости класса

энергоэффективности многоквартирных домов от климатических факторов представлены в виде диаграммы, отражающей связь между потреблением тепловых ресурсов и климатическими условиями (рис. 5).

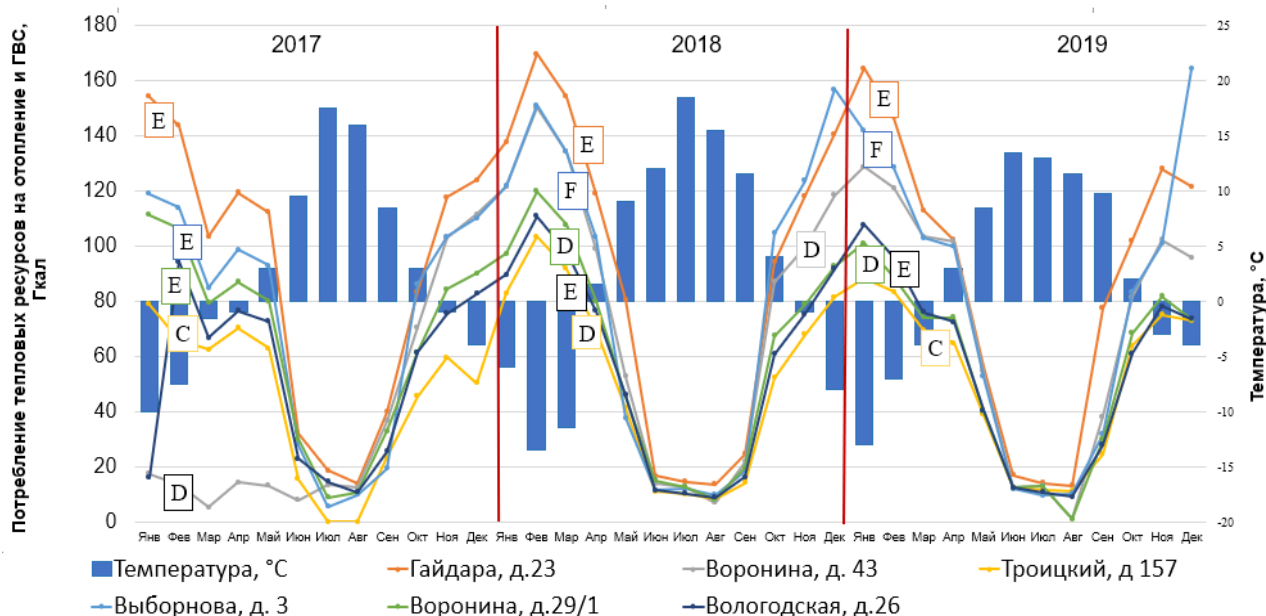


Рис. 5. Потребление тепловых ресурсов относительно климатических факторов для различных серий многоквартирных домов

Fig. 5. Thermal resource consumption in relation to climatic factors for various apartment building series

На рис. 6 показана динамика изменения класса энергоэффективности согласно фактическим данным потребления ресурсов.

Результаты исследования показали, что класс энергетической эффективности многоквартирных домов варьируется от года к году в зависимости от изменения среднемесячной

температуры наружного воздуха. Другие климатические параметры, такие как перепады температуры, осадки, скорость ветра и т. д., в расчетах не учитывались. Предположительно, такие колебания могут быть связаны с изменением объемов подачи тепловых ресурсов в зависимости от погодных условий.

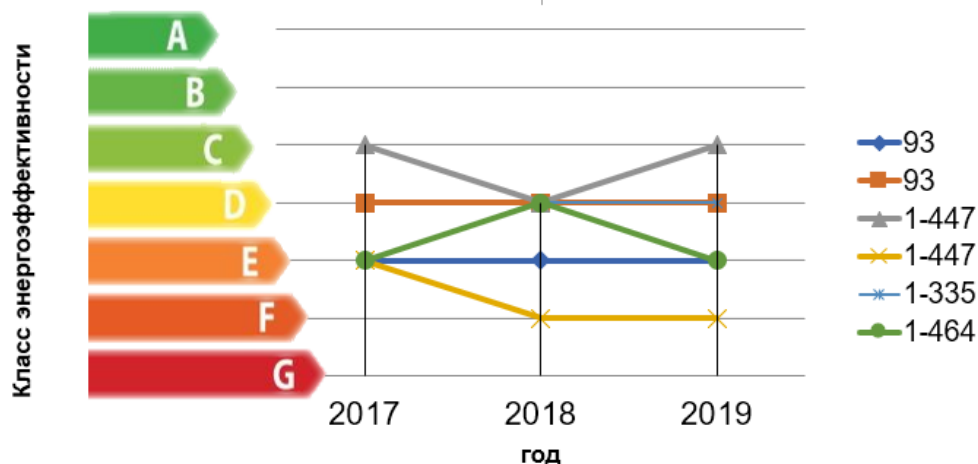


Рис. 6. Класс энергоэффективности зданий в зависимости от климатических условий

Fig. 6. Building energy efficiency class depending on climatic conditions

Таким образом, показатели энергоэффективности отдельных объектов жилищного фонда, которые были определены в разные временные периоды, не могут быть сопоставимы и объединены в однородные группы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование комплексных программ капитального ремонта должно соответствовать современным требованиям организационно-технологического проектирования.

Учет и улучшение параметров энергоэффективности жилья в рамках капитальных ремонтов является целесообразным и необходимым. Однако разработка эффективных программ капитального ремонта невозможна без систематического мониторинга жилищного фонда.

Исследования показали, что энергетические характеристики жилищного фонда отличаются значительным разнообразием. Даже серийные здания имеют специфические особенности, которые не позволяют классифицировать их только по одному или двум признакам.

Гипотеза о возможности классификации многоквартирных домов типовых серий исключительно на основе архитектурно-строительной и конструктивной схожести не подтвердилась. Для определения совокупности целесообразных работ необходимо расширить перечень показателей энергоэффективности, которые позволят выявить причины низкой эффективности и потенциальные возможности для ее повышения.

Рекомендуется включить в перечень характеристик энергоэффективности многоквартирных домов следующие параметры [5, 6, 9, 12–27]:

- удельный среднемесячный показатель потребления тепловой энергии при установленной среднемесячной температуре наружного воздуха;

- температуру внутреннего воздуха помещений или качественные характеристики объектов (на основе анализа заявок жильцов или результатов опросов);

- теплопроводность ограждающих конструкций (при выявлении отклонений от средних показателей по аналогичным объектам);

- воздухопроницаемость ограждающих конструкций (при выявлении отклонений от средних показателей по аналогичным объектам);

- рекомендуемые виды работ и мероприятий по повышению энергоэффективности здания и др.

Эти характеристики тесно взаимосвязаны и взаимодействуют между собой, определяя как текущее, так и потенциальное энергопотребление. Без глубокого анализа динамики и взаимосвязей этих параметров невозможно точно оценить реальные энергетические характеристики здания. Это приводит к значительной неопределенности в прогнозировании и оптимизации энергоэффективности.

Для достижения оптимальных результатов необходимо учитывать все факторы в их совокупности, что позволит минимизировать риски и повысить точность расчетов.

Формирование типовых программ ремонта зданий должно основываться на фундаментальном методическом подходе к классификации объектов с использованием многофакторных моделей и современных методов обработки больших массивов данных [8–11]. Только комплексный учет всех характеристик энергоэффективности в сочетании с перечнем целесообразных работ по энергоэффективному капитальному ремонту для каждого обследованного объекта позволит провести многокритериальную оценку эффективности отдельных или комплексных (пакетных) технологических решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Борисов К.Б. Анализ факторов, влияющих на повышение энергоэффективности многоквартирных домов с учетом территориально-климатических различий. Ч. 1. // Энергосбережение. 2024. № 4. С. 44–51. EDN: KPQOWD.
2. Борисов К.Б. Анализ факторов, влияющих на повышение энергоэффективности многоквартирных домов с учетом территориально-климатических различий. Ч. 2. // Энергосбережение. 2024. № 5. С. 30–37. EDN: MQEIQV.
3. Лапидус А.А., Экба С.И., Билонда Трегубова Е., Кормухин С.А. Методика типизации многоквартирных домов, подлежащих капитальному ремонту общего имущества // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 2 (770). С. 56–64. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-770-2-56-64>. EDN: YYOZGE.
4. Экба С.И., Трегубова Е.Б., Кормухин С.А. Основные факторы, влияющие на выбор организационно-технологических решений при капитальном ремонте жилых домов // Строительное производство. 2023. № 4. С. 83–87. https://doi.org/10.54950/26585340_2023_4_83. EDN: RQDDOH.
5. Alghanmi A., Yunusa-Kaltungo A., Edwards R.E. Investigating the Influence of Maintenance Strategies on

- Building Energy Performance: A Systematic Literature Review // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 14673–14698. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.441>.
6. Papadopoulos S., Kontokosta C.E. Grading Buildings on Energy Performance Using City Benchmarking Data // *Applied Energy*. 2019. Vol. 233–234. P. 244–253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.053>.
7. Cuerda E., Guerra-Santin O., Sendra J.J., Neila J. Understanding the Performance Gap in Energy Retrofitting: Measured Input Data for Adjusting Building Simulation Models // *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 209. P. 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109688>.
8. Ribeiro M., Singh S., Guestrin C. “Why Should I Trust You?”: Explaining the Predictions of Any Classifier // *Proceedings of the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Demonstrations*. 2016. P. 97–101. <https://doi.org/10.18653/v1/N16-3020>.
9. Cheng Fan, Fu Xiao, Yang Zhao A Short-Term Building Cooling Load Prediction Method Using Deep Learning Algorithms // *Applied Energy*. 2017. Vol. 195. P. 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.064>.
10. Попова О.Н. Применение самоорганизующихся карт (SOM) для анализа жилищного фонда при его комплексном воспроизводстве // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2013. № 10 (81). С. 171–178. EDN: RGSXVJ.
11. Попова О.Н., Глебова Ю.М. Энергетическая устойчивость жилой застройки как критерий комплексной оценки энергосистемы города // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. № 3 (66). С. 7–18. <https://doi.org/10.18720/CUBS.66.1>. EDN: XTYVNR.
12. Bashmakov I., Myshak A., Bashmakov V., Borisov K., Dzedzichek M., Lunin A. et al. Compact Meta-Models To Estimate The Effects Of Energy Efficiency Policies And Measures // *Energy Efficiency*. 2024. Vol. 17. Iss. 5. P. 1–45. <https://doi.org/10.1007/s12053-024-10222-z>. EDN: VQSIHG.
13. Фролова А.А., Лухменев П.И. Расчет уровня энергетически целесообразной теплозащиты // *Вестник МГСУ*. 2023. Т. 18. № 1. С. 82–90. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.1.82-90>. EDN: XOHDAI.
14. Kavousian A., Rajagopal R., Fischer M. Determinants of Residential Electricity Consumption: Using Smart Meter Data to Examine The Effect of Climate, Building Characteristics, Appliance Stock, and Occupants' Behavior // *Energy*. 2013. Vol. 55. P. 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>.
15. Дацюк Т.А., Уляшева В.М., Пухгал В.А., Верховский А.А. Влияние удельной вентиляционной характеристики офисных зданий на энергопотребление // *Вестник гражданских инженеров*. 2024. № 1 (102). С. 73–83. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2024-21-1-73-83>. EDN: KKUPHF.
16. Пухгал В.А., Шкаровский А.Л., Черненко В.П., Кобзарь А.В. Теплопотребление жилых зданий на отопление и вентиляцию в процессе эксплуатации // *Вестник гражданских инженеров*. 2023. № 1 (96). С. 103–110. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-1-103-110>. EDN: VABXVT.
17. Borgstein E.H., Lamberts R., Hensen J.L.M. Evaluating Energy Performance in Non-Domestic Buildings: A Review // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 128. P. 734–755. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>.
18. de Wilde P. The Gap between Predicted and Measured Energy Performance of Buildings: A Framework for Investigation // *Automation in Construction*. 2014. Vol. 41. P. 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>.
19. Chung W. Using the Fuzzy Linear Regression Method to Benchmark the Energy Efficiency of Commercial Buildings // *Applied Energy*. 2012. Vol. 95. P. 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.061>.
20. Wu Xuchao, Priyadarsini R., Lee Siew Eang Benchmarking Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Singapore's Hotel Industry // *Energy Policy*. 2010. Vol. 38. Iss. 8. P. 4520–4527. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.006>.
21. Xuefeng Gao, Malkawi A. A New Methodology for Building Energy Performance Benchmarking: An Approach Based on Intelligent Clustering Algorithm // *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 84. P. 607–616. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.030>.
22. Papadopoulos S., Bonczak B., Kontokosta C.E. Pattern Recognition in Building Energy Performance Over Time Using Energy Benchmarking Data // *Applied Energy*. 2018. Vol. 221. P. 576–585. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.079>.
23. Ливчак В.И. Фактическое теплопотребление зданий как показатель качества и надежности проектирования // *АВОК*. 2009. № 2. С. 4–13.
24. Ливчак В.И. Об экспериментальной оценке показателя энергоэффективности многоквартирных зданий // *Энергосбережение*. 2018. № 5. С. 32–37. EDN: XTFCNF.
25. Лобов О.И., Ананьев А.И., Рымаров А.Г. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 11. С. 67–71. EDN: XACMYN.
26. Дацюк Т.А., Гримитлин А.М. Влияние воздухопроницаемости ограждающих конструкций на энергопотребление жилых зданий // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 6 (65). С. 182–187. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-182-187>. EDN: YPNFSZ.
27. Куриленко Н.И., Давлятчин Р.Р., Шалагин И.Ю. Воздухопроницаемость как составляющая удельного расхода на отопление и вентиляцию зданий // *Актуальные проблемы строительства, экологии и*

REFERENCES

1. Borisov K.B. Analysis of the Factors Influencing the Increase in Energy Efficiency of Apartment Buildings, Taking Into Account Territorial and Climatic Differences. P. 1. *Energy Saving Technologies*. 2024;4:44-51. (In Russ.). EDN: KPQOWD.
2. Borisov K.B. Analysis of the Factors Influencing the Increase in Energy Efficiency of Apartment Buildings, Taking Into Account Territorial and Climatic Differences. P. 2. *Energy Saving Technologies*. 2024;5:30-37. (In Russ.). EDN: MQEIQV.
3. Lapidus A.A., Ekba S.I., Tregubova E.B., Kormukhin S.A. Method of Typification of Multi-Apartment Residential Houses Subject To Overhaul of Common Property. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2023;2(770):56-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-770-2-56-64>. EDN: YYOZGE.
4. Ekba S.I., Bilonda Tregubova E., Kormukhin S.A. The Main Factors Influencing the Choice of Organizational and Technological Solutions for the Overhaul of Residential Buildings. *Construction Production*. 2023;4:83-87. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2023_4_83. EDN: RQDDOH.
5. Alghanmi A., Yunusa-Kaltungo A., Edwards R.E. Investigating the Influence of Maintenance Strategies on Building Energy Performance: A Systematic Literature Review. *Energy Reports*. 2022;8:14673-14698. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.441>.
6. Papadopoulos S., Kontokosta C.E. Grading Buildings on Energy Performance Using City Benchmarking Data. *Applied Energy*. 2019;233–234:244-253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.053>.
7. Cuerda E., Guerra-Santin O., Sendra J.J., Neila J. Understanding the Performance Gap in Energy Retrofitting: Measured Input Data for Adjusting Building Simulation Models. *Energy and Buildings*. 2020;209:1-26. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109688>.
8. Ribeiro M., Singh S., Guestrin C. "Why Should I Trust You?": Explaining the Predictions of Any Classifier. *Proceedings of the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Demonstrations*. 2016:97-101. <https://doi.org/10.18653/v1/N16-3020>.
9. Cheng Fan, Fu Xiao, Yang Zhao A Short-Term Building Cooling Load Prediction Method Using Deep Learning Algorithms. *Applied Energy*. 2017;195:222-233. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.064>.
10. Popova O.N. Using Self-Organizing Maps (SOM) For Housing Stock Analysis under Its Complex Reproduction. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2013;10(81):171-178. (In Russ.). EDN: RGSXVJ.
11. Popova O.N., Glebova Yu.M. Energy Sustainability of Residential Development as the Assessment Criterion of City Energy-System. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2018;3(66):7-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.18720/CUBS.66.1>. EDN: XTYVNR.
12. Bashmakov I., Myshak A., Bashmakov V., Borisov K., Dzedzichek M., Lunin A. et al. Compact Meta-Models To Estimate The Effects Of Energy Efficiency Policies And Measures. *Energy Efficiency*. 2024;17(5):1-45. <https://doi.org/10.1007/s12053-024-10222-z>. EDN: VQSIHG.
13. Frolova A.A., Lukhmenov P.I. Calculation of the Level of Energy Efficient Heat Protection. *Monthly Journal on Construction and Architecture*. 2023;18(1):82-90. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.1.82-90>. EDN: XOHDAI.
14. Kavousian A., Rajagopal R., Fischer M. Determinants of Residential Electricity Consumption: Using Smart Meter Data to Examine The Effect of Climate, Building Characteristics, Appliance Stock, and Occupants' Behavior. *Energy*. 2013;55:184-194. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.086>.
15. Datsuk T.A., Ulyasheva V.M., Pukhkal V.A., Verhovskiy A.A. Influence of Specific Ventilation Characteristics of Office Buildings on Energy Consumption. *Bulletin of Civil Engineers*. 2024;1(102):73-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2024-21-1-73-83>. EDN: KKUPHF.
16. Pukhkal V.A., Shkarovskiy A.L., Chernenkov V.P., Kobzar A.V. Heat Consumption in Residential Buildings for Heating and Ventilation During Operation. *Bulletin of Civil Engineers*. 2023;1(96):103-110. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-1-103-110>. EDN: VABXVT.
17. Borgstein E.H., Lamberts R., Hensen J.L.M. Evaluating Energy Performance in Non-Domestic Buildings: A Review. *Energy and Buildings*. 2016;128:734-755. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.018>.
18. de Wilde P. The Gap between Predicted and Measured Energy Performance of Buildings: A Framework for Investigation. *Automation in Construction*. 2014;41:40-49. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009>.
19. Chung W. Using the Fuzzy Linear Regression Method to Benchmark the Energy Efficiency of Commercial Buildings. *Applied Energy*. 2012;95:45-49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.061>.
20. Wu Xuchao, Priyadarsini R., Lee Siew Eang Benchmarking Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Singapore's Hotel Industry. *Energy Policy*. 2010;38(8):45200-4527. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.006>.
21. Xuefeng Gao, Malkawi A. A New Methodology for Building Energy Performance Benchmarking: An Approach Based on Intelligent Clustering Algorithm. *Energy and Buildings*. 2014;84:607-616.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.030>.

22. Papadopoulos S., Bonczak B., Kontokosta C.E. Pattern Recognition in Building Energy Performance Over Time Using Energy Benchmarking Data. *Applied Energy*. 2018;221:576-585. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.079>.
23. Livchak V.I. The Actual Heat Consumption of Buildings as an Indicator of the Quality and Reliability of Design. *AVOK*. 2009;2:4-13. (In Russ.).
24. Livchak V.I. On The Experimental Assessment of the Energy Efficiency Index of Multi-Apartment Buildings. *Energy Saving Technologies*. 2018;5:32-37. (In Russ.). EDN: XTFCNF.
25. Lobov O.I., Ananiev A.I., Rymarov A.G. Main Reasons for Non-Compliance of Factual Level of Heat Protection of External Walls of Modern Buildings with Regulatory Requirements. *Industrial and Civil Engineering*. 2016;11:67-71. (In Russ.). EDN: XACMYN.
26. Datsyuk T.A., Grimitin A.M. The Effect of the Enclosing Structure Air Permeability Value on the Energy Consumption of Residential Building. *Bulletin of Civil Engineers*. 2017;6(65):182-187. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-182-187>. EDN: YPNFSZ.
27. Kurilenko N.I., Davlyatchin R.R., Shalagin I.Yu. Air Permeability as a Component of Specific Consumption for Heating and Ventilation of Buildings. In: *Aktual'nye problemy stroitel'stva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoi Sibiri. Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii v trekh tomakh = Actual Problems of Construction, Ecology and Energy Saving in Western Siberia. Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference in Three Volumes*. 15 April 2014, Tyumen. Tyumen; 2014. Vol. 2. p. 107-111. (In Russ.). EDN: QNVLMY.

Информация об авторах

Попова Ольга Николаевна,

к.т.н., доцент,
заведующий кафедрой автомобильных дорог
и строительного производства,
Северный (Арктический) федеральный
университет имени М.В. Ломоносова,
163002, г. Архангельск, набережная Северной
Двины, 17, Россия,
✉ e-mail: oly-popova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8202-115X>
Author ID: 714513

Шошина Алена Алексеевна,

старший преподаватель кафедры
автомобильных дорог и строительного
производства,
Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова,
163002, г. Архангельск, набережная
Северной Двины, 17, Россия,
e-mail: shosina98@gmail.com

Юдина Антонина Федоровна,

д.т.н., профессор, профессор кафедры
организации строительного производства,
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
190005, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская ул., 4,
Россия,
e-mail: yudinaantonina2017@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6543-6831>
Author ID: 487030

Information about the authors

Olga N. Popova,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Highways
and Construction Production,
Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov,
17, Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk 163002,
Russia,
✉ e-mail: oly-popova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8202-115X>
Author ID: 714513

Alena A. Shoshina,

Senior Lecturer of the Department
of Highways and Construction Production,
Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov,
17, Severnaya Dvina Emb.,
Arkhangelsk 163002,
Russia,
e-mail: shosina98@gmail.com

Antonina F. Yudina,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Construction
Technology,
Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
4, 2nd Krasnoarmeiskaya St., Saint Petersburg,
190005, Russia,
e-mail: yudinaantonina2017@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6543-6831>
Author ID: 487030

Симанкина Татьяна Леонидовна,
к.т.н., доцент,
доцент Высшей школы гидротехнического
и энергетического строительства,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29 литера Б, Россия,
e-mail: simankina_tl@spbstu.ru
[https://orcid.org/ 0000-0002-2496-9823](https://orcid.org/0000-0002-2496-9823)
Author ID: 659002

Tatyana L. Simankina,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Higher School
of Hydraulic and Power Engineering Construction,
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic
University,
29B Polytechnicheskaya St., Saint Petersburg
195251, Russia,
e-mail: simankina_tl@spbstu.ru
[https://orcid.org/ 0000-0002-2496-9823](https://orcid.org/0000-0002-2496-9823)
Author ID: 659002

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and
approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.01.2025.
Одобрена после рецензирования 06.02.2025.
Принята к публикации 07.02.2025.

Information about the article

The article was submitted 28.01.2025.
Approved after reviewing 06.02.2025.
Accepted for publication 07.02.2025.