

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2026, Том 18, № 4 / 2026, Vol. 18, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/22SAVN426.pdf>

DOI: 10.15862/22SAVN426 (<https://doi.org/10.15862/22SAVN426>)

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кабанова, И. А. Проектирование энергоэффективных систем отопления и вентиляции с учетом климатических особенностей регионов России / И. А. Кабанова, Е. А. Боханова // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/22SAVN426.pdf>. DOI: 10.15862/22SAVN426.

For citation:

Kabanova I.A., Bokhanova E.A. Design of energy-efficient heating and ventilation systems considering climatic features of Russian regions. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(4): 22SAVN426. Available at: <https://esj.today/PDF/22SAVN426.pdf>. DOI: 10.15862/22SAVN426. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 697

Кабанова Ирина Александровна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Смоленск, Россия
Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Кандидат технических наук
E-mail: ir.kabanowa@mail.ru

Боханова Елизавета Александровна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Смоленск, Россия
E-mail: semenkova.elizaveta00@mail.ru

Проектирование энергоэффективных систем отопления и вентиляции с учетом климатических особенностей регионов России

Аннотация. В статье исследуется проблематика проектирования энергоэффективных систем отопления и вентиляции для объектов социальной инфраструктуры с учетом климатических особенностей регионов России. Авторами рассматриваются различные аспекты тепловой защиты здания, представляющие собой комплекс архитектурно-строительных и теплотехнических решений, направленных на обеспечение нормативного температурно-влажностного режима при минимальных эксплуатационных затратах. Взаимосвязь тепловой защиты здания и энергоэффективной работы системы отопления носит системный характер, поскольку выбор параметров ограждающих конструкций непосредственно определяет тепловую нагрузку инженерных систем и, как следствие, объем потребляемых энергоресурсов. Особое внимание уделяется вопросам энергосбережения и снижения эксплуатационных затрат при безусловном обеспечении требуемых параметров микроклимата. Современные исследования подтверждают, что для повышения энергетической эффективности здания недостаточно рассматривать отдельные инженерные решения — необходим комплексный расчетный подход, учитывающий взаимное влияние теплозащитных свойств здания, режимов работы инженерного оборудования систем отопления, вентиляции и холодоснабжения, а также работу систем автоматики. В результате разработана методика определения оптимальной толщины утеплителя на основе теплового баланса здания с учетом внутренних теплопоступлений. Даны практические рекомендации по типам рекуператоров тепла с учетом климатических особенностей районов строительства. Полученные данные продемонстрировали эффективность предлагаемых инженерных решений, подтвердив, что энергосбережение достигается не применением

универсальных решений, а климатически адаптированным проектированием. Разработанные рекомендации могут быть использованы при проектировании энергоэффективных зданий социальной инфраструктуры в различных регионах Российской Федерации.

Ключевые слова: энергоэффективность; тепловой баланс; тепловая защита зданий; рекуперация тепла; климатический пояс; система отопления и вентиляции; инженерные решения

Введение

В условиях современного строительства проблема повышения энергетической эффективности зданий приобретает особую значимость. Энергосберегающие технологии в строительстве охватывают широкий спектр решений — от выбора эффективных теплоизоляционных материалов и конструктивных решений до внедрения интеллектуальных систем управления инженерными системами здания [1].

Актуальность вопросов энергоэффективности объектов строительства связана с глобальной экологической повесткой, экономической необходимостью снижения постоянно растущих эксплуатационных затрат на работу систем отопления и вентиляции, а также с ужесточением нормативных требований [2].

Россия обладает уникальной географической протяженностью, что приводит к большим различиям между климатическими параметрами городов: от влажных субтропиков на юге страны, до арктического и резко континентального климата на севере. Это требует индивидуального подхода к проектированию инженерных систем для обеспечения комфортных условий внутри зданий и минимизации энергопотребления.

Целью настоящей работы является разработка научно-обоснованных подходов и методических основ для проектирования энергоэффективных систем отопления и вентиляции здания с учетом климатических особенностей регионов России.

Объектом исследования является двухэтажное здание дошкольного образовательного учреждения, располагаемое в различных климатических регионах России. Здание предполагает типовую планировку, включая групповые ячейки, медицинский блок, пищеблок, музыкально-физкультурный зал и административные помещения. Выбор данного объекта обусловлен его социальной значимостью, а также высокими требованиями к санитарно-гигиеническим нормам и микроклимату здания. В то же время, дошкольные учреждения являются бюджетными организациями, для которых эксплуатационные расходы на энергоносители составляют значительную долю от общего бюджета. Следовательно, при проектировании систем ОВиК необходимо найти баланс между обеспечением нормативного микроклимата и минимизацией энергопотребления.

Предметом исследования являются закономерности влияния климатических параметров регионов России на проектные параметры систем отопления и вентиляции, а также методы подбора энергоэффективного инженерного оборудования на основе результатов теплотехнического, гидравлического и аэродинамического расчета.

Методы

Для достижения цели настоящей работы были выбраны города-представители для основных климатических зон России с характерными климатическими параметрами. Согласно

методологии¹, вся территория Российской Федерации подразделяется на климатические зоны и районы. В настоящей работе предлагается применить классификацию климатических поясов²:

- **I пояс** (скорость ветра до 2,7 м/с, относительная влажность 76 %, средняя температура воздуха зимних месяцев -1°C) включает в себя Юг России. Выбираем в качестве рассматриваемого района строительства **город Сочи**.
- **II пояс** (скорость ветра 5,6 м/с, относительная влажность 84 %, средняя температура воздуха зимних месяцев -9,7°C) включает в себя Северо-Запад и Запад страны, территории Приморья. Выбираем в качестве рассматриваемого района строительства **город Москва**.
- **III пояс** (скорость ветра 3,6 м/с, относительная влажность 78 %, средняя температура воздуха зимних месяцев -18°C) включает в себя южные районы Сибири и часть Дальнего Востока. В качестве рассматриваемого района строительства выбираем **город Новосибирск**.
- **IV пояс** (скорость ветра 1,3 м/с, относительная влажность 73 %, средняя температура воздуха зимних месяцев -41°C) — это районы Якутии, северной Сибири, северные районы Дальнего Востока (полярная зона). В качестве рассматриваемого района строительства выбираем **город Мурманск**.
- **«Особый» пояс** (скорость ветра 6,8 м/с, относительная влажность 79 %, средняя температура воздуха зимних месяцев -25°C) — это районы Чукотки и Заполярье. В качестве расчетного района строительства выбираем **город Нарьян-Мар**.

Анализ климатических зон подтверждает ключевой тезис настоящей работы: разнообразие климатических условий на территории Российской Федерации и исключает возможность применения типовых инженерных решений. Расчетные климатические параметры для проектирования системы отопления и вентиляции³ представлены в таблице 1.

Тепловой баланс здания представляет собой количественное соотношение между поступлением теплоты в помещения и потерями тепла через ограждающие конструкции. Для холодного периода года баланс составляется с целью определения требуемой тепловой мощности системы отопления, достаточной для компенсации трансмиссионных теплопотерь через наружные стены, покрытия, окна, а также нагрев инфильтрационного воздуха. Для теплого периода года тепловой баланс формируется из избыточных теплопоступлений (от солнечной радиации, людей, оборудования, освещения), которые необходимо удалять с помощью системы кондиционирования для поддержания требуемых параметров микроклимата.

¹ СП 131.13330.2025. Строительная климатология: свод правил: утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 8 августа 2025 г. № 470/пр // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1313808224> (дата обращения: 12.05.2026).

² ГОСТ Р 12.4.236-2011. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования межгосударственный стандарт: введен приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2011 г. № 100-ст // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] — URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/2a4/4293801503.pdf> (дата обращения: 12.05.2026).

³ СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: свод правил: утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 921/пр // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] — URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256> (дата обращения: 15.05.2026).

Таблица 1

**Расчетные параметры наружного воздуха для
проектирования системы отопления и вентиляции (параметры Б)**

Период года	Параметры Б			Средняя суточная амплитуда температуры воздуха, °С
	температура воздуха, °С	удельная энтальпия, кДж/кг	скорость ветра, м/с	
1	6	7	8	10
I климатическая зона (г. Сочи)				
Теплый	28	65	1,5	7,9
Холодный	-2	3,47	2,8	6,2
II климатическая зона (г. Москва)				
Теплый	26	52,5	1,0	10,2
Холодный	-23	-22,33	2	5,8
III климатическая зона (г. Новосибирск)				
Теплый	26	50	2,6	12,0
Холодный	-36	-36,14	4,5	9,4
IV климатическая зона (г. Мурманск)				
Теплый	20	35	3,9	8,2
Холодный	-28	-27,70	5,2	6,5
«Особая» климатическая зона (г. Нарьян-Мар)				
Теплый	21	40	3,7	9,7
Холодный	-38	-38,19	5	9,2

Составлено авторами

Составление теплового баланса здания является обязательным предварительным этапом проектирования для исключения перерасхода энергии или недостаточного теплоснабжения здания [3].

Архитектурно-планировочные решения для объекта исследования выбраны из списка типовых проектов из базы Минстроя России.⁴ Архитектурно-строительное проектирование здания выполнено в BIM-системе трехмерного автоматизированного проектирования Revit.

Здание имеет размеры в плане 39,30×17,775 м, 2 надземных этажа, а также технический подвал. В подвале здания расположены технические помещения: электрощитовые, тепловой пункт с водомерным узлом, венткамера и прочие. На первом этаже расположены две групповые ячейки для младших групп, состоящие из спальни, игровой, раздевальной, буфетной и туалетной. Также на этаже расположены пищеблок, входная группа и постирочная с хозяйственными кладовыми. На втором этаже расположены две групповые ячейки для средних и старших групп, состоящие из спальни, игровой, раздевальной, буфетной и туалетных. Также на этаже расположен блок административных помещений и музыкально-спортивный зал.

Целью теплотехнического расчета является проверка заложенной в проект структуры ограждающих конструкций, которая обязана обеспечивать выполнение требований по тепловой защите. Энергосбережение при применении высокоэффективных теплоизоляционных материалов является ключевым аспектом современного строительства. Такие материалы позволяют сократить затраты энергии и тем самым повысить эффективность здания.

В настоящей работе в качестве основного объекта оптимизации тепловой защиты выбраны наружные стены, поскольку они обладают наибольшей площадью среди всех ограждающих конструкций здания и формируют основную долю трансмиссионных потерь в отличие от пола по грунту или перекрытия.

⁴ Типовая проектная документация. Минстрой России [Электронный ресурс] — URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/gradostroitel'naya-deyatelnost-i-arhitektura/17/> (дата обращения: 15.03.2026).

Кроме того, выбор толщины утеплителя для стен имеет определяющее значение для обеспечения санитарно-гигиенических требований (недопущение выпадения точки росы на внутренней поверхности), тогда как для полов и перекрытий влажностный режим менее критичен. Таким образом, наружные стены являются приоритетным объектом теплотехнической оптимизации при проектировании энергоэффективных зданий. В работе толщина утеплителя для полов по грунту и перекрытия выбрана необходимой для обеспечения требуемого значения сопротивления теплопередачи, определенного согласно ГСОП для каждого района строительства.

Расчетные величины сопротивления теплопередачи для полов по грунту и кровли, согласно рекомендациям в зависимости от района строительства, представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Расчетное сопротивление теплопередачи
для полов по грунту и кровли по климатическим поясам**

Климатическая зона	$\delta_{\text{ут.пол}}, \text{мм}$	$R_{\text{пол}}, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	$\delta_{\text{ут.кровля}}, \text{мм}$	$R_{\text{кровля}}, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$
I климатический пояс	150	5,15	150	5,48
II климатический пояс	200	6,34	200	6,91
III и IV климатический пояс	250	7,53	250	8,34
«Особый» климатический пояс	300	8,72	300	9,77

Разработано авторами

Условия по энергоэффективности соблюдены.

На объекте исследования предусмотрена система вентилируемого фасада согласно рисунку 1. В воздушном зазоре циркулирует наружный воздух, обеспечивая сухость стен и препятствуя образованию конденсата, тем самым сохраняя свойства теплоизоляционного материала. Особенность теплотехнического расчета вентилируемого фасада — при расчете учитываются все слои ограждающей конструкции до воздушной прослойки, так как контакт с холодным наружным воздухом происходит непосредственно в зазоре [4].

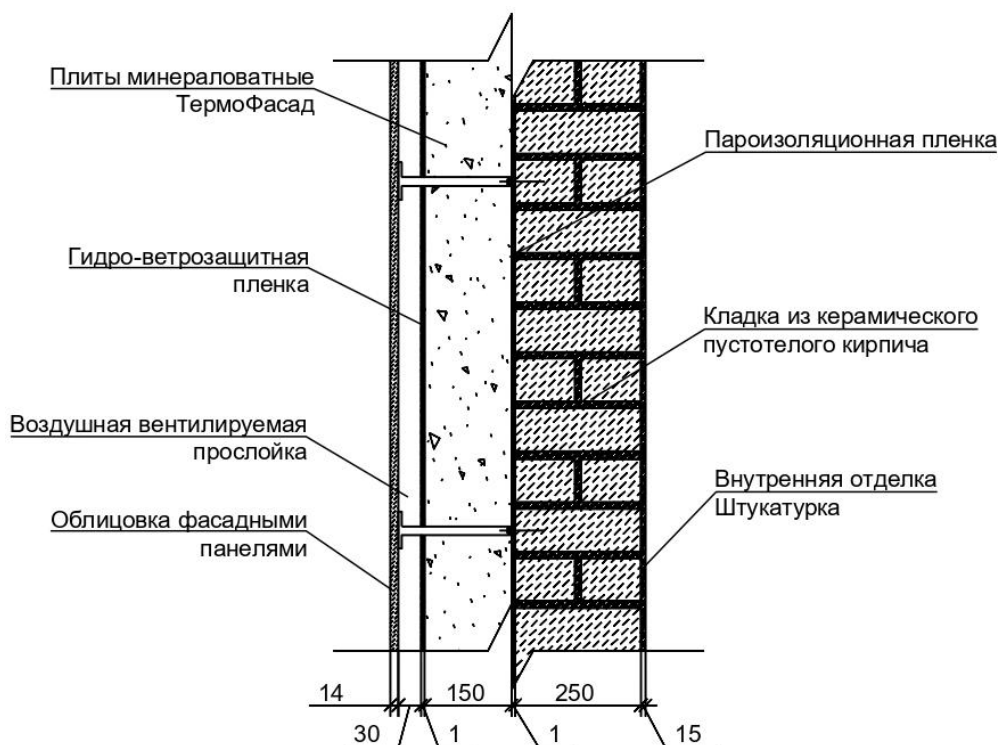


Рисунок 1. Конструкция наружной стены объекта исследования (разработано авторами)

В представленной работе в качестве рассматриваемого теплоизоляционного материала для наружных стен приняты минераловатные плиты, что обусловлено их широким применением, высокими теплоизоляционными характеристиками и паропроницаемостью, необходимой для обеспечения нормативного влажностного режима конструкции. Однако в ходе работы разработан универсальный расчетный комплекс для объекта исследования, который позволяет оперативно заменять теплоизоляционный материал, варьировать его толщину с автоматическим пересчетом теплопотерь. Данный инструмент значительно сокращает время вычислений при многовариантных теплотехнических расчетах и позволяет проектировщику оперативно оценивать эффективность различных конструктивных решений без выполнения трудоемких вычислительных операций. Также разработанный подход может быть адаптирован для любого региона строительства, что расширяет область применения полученных результатов.

Согласно СП 50.13330.2024⁵ определено минимально допустимое значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен, обеспечивающих энергосбережение для городов-представителей:

- I климатический пояс г. Сочи: $R_0^{\text{норм}} = 1,86 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$,
- II климатический пояс г. Москва: $R_0^{\text{норм}} = 3,08 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$,
- III климатический пояс г. Новосибирск: $R_0^{\text{норм}} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$,
- IV климатический пояс г. Мурманск: $R_0^{\text{норм}} = 3,77 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$,
- «Особый» климатический пояс г. Нарьян-Мар: $R_0^{\text{норм}} = 4,26 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Конструктивный состав наружных стен, проектируемых на объекте исследования, коэффициенты теплопроводности и толщина слоев представлен в таблице 3.

Таблица 3

Конструктивный состав наружной стены

Наименование слоя	Толщина $\delta, \text{мм}$	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$
Штукатурка: раствор цементно-перлитовый 800	15	0,26	0,0577
Кладка из керамического пустотелого кирпича на перлитовом растворе 1200	380	0,43	0,5814
Пароизоляционная пленка	1	0,23	0,004
Плиты минераловатные	по расчету	0,04	по расчету
Ветро-гидрозащитная пленка	1	0,41	0,0024
Воздушная прослойка	30	0,02	не рассчитывается
Облицовочный материал: керамзитобетон	14	0,2	

Разработано авторами

В рамках работы проведено исследование по определению оптимальной толщины утеплителя наружных стен, что при проектировании систем ОВиК критически важно по трем основным причинам: во-первых, недостаточная толщина утеплителя ведет к повышенным теплопотерям, росту эксплуатационных расходов и возможному промерзанию конструкции;

⁵ СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий: свод правил: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 15 мая 2024 г. № 327/пр // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс] — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306326592> (дата обращения: 15.05.2026).

во-вторых, избыточная толщина неоправданно увеличивает стоимость строительства и монтажа без соразмерного энергосбережения. Кроме того, правильно подобранный утеплитель гарантирует, что точка росы не попадает внутрь стены, предотвращая накопление влаги, развитие плесени и преждевременного разрушения ограждения, что напрямую влияет на надежность работы системы отопления и долговечность здания. Определим оптимальную толщину для объекта исследования путем графического отображения теплового баланса здания [5; 6].

Согласно формулам по расчету теплопотерь здания через ограждающие конструкции и теплопоступлений в помещения, представленных в учебном пособии⁶, был составлен тепловой баланс здания. Тепловой баланс основан на нахождении разности между теплопритоками и теплопотерями помещений.

Учет внутренних теплопоступлений в холодный период — это основополагающий принцип проектирования энергоэффективных и надежных систем отопления, особенно для зданий с повышенными требованиями к микроклимату помещений. Если пренебречь теплопоступлениями, то мощность системы отопления будет завышена. Это, в свою очередь, приведет к перегреву помещений, некомфортным условиям микроклимата, перерасходу энергии и топлива [7].

Для принятого объекта исследования (дошкольного образовательного учреждения) источники внутреннего тепла особенно значимы и постоянны: в холодный период года явные тепловыделения от одного ребенка могут составлять до 150 Вт, в группе из 20 детей это уже 3 кВт постоянного тепла. В переходные периоды годы (весна-осень) доля теплопоступлений от солнечной радиации также оказывается значительной. Игнорирование этого фактора, особенно в южных регионах, приведет к значительному перерасходу энергии [8].

Для I климатического пояса (г. Сочи) расчетный тепловой баланс графически отображен на рисунке 2.

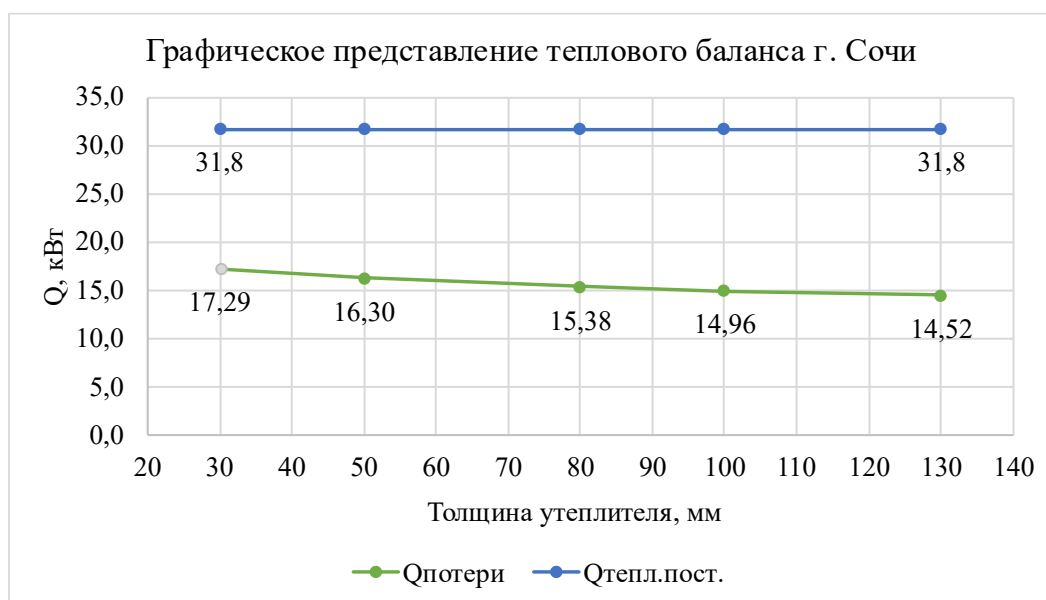


Рисунок 2. Графическое отображение теплового баланса здания, г. Сочи (разработано авторами)

⁶ Богуславский Л. Д. Экономия теплоты в жилых зданиях. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1190. — 119 с.: ил // Электронная версия печ. публ. — URL: <https://djuvonline/file/RXeNbdhuJgg1> (дата обращения: 19.03.2026).

По результатам расчета теплового баланса для I климатического пояса установлено, что внутренние теплопоступления превышают теплопотери через ограждающие конструкции. Данное обстоятельство позволяет не завышать толщину утеплителя, так как это не приводит к дополнительному энергосберегающему эффекту, а лишь увеличивает капитальные затраты. Таким образом, для расчета системы отопления объекта исследования в I климатическом поясе принимаем толщину утеплителя для наружной стены 50 мм, $R_0^{\text{расч}} = 1,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Для II климатического пояса (г. Москва) и IV климатического пояса (г. Мурманск) расчетный тепловой баланс графически отображен на рисунке 3 и рисунке 4, соответственно.

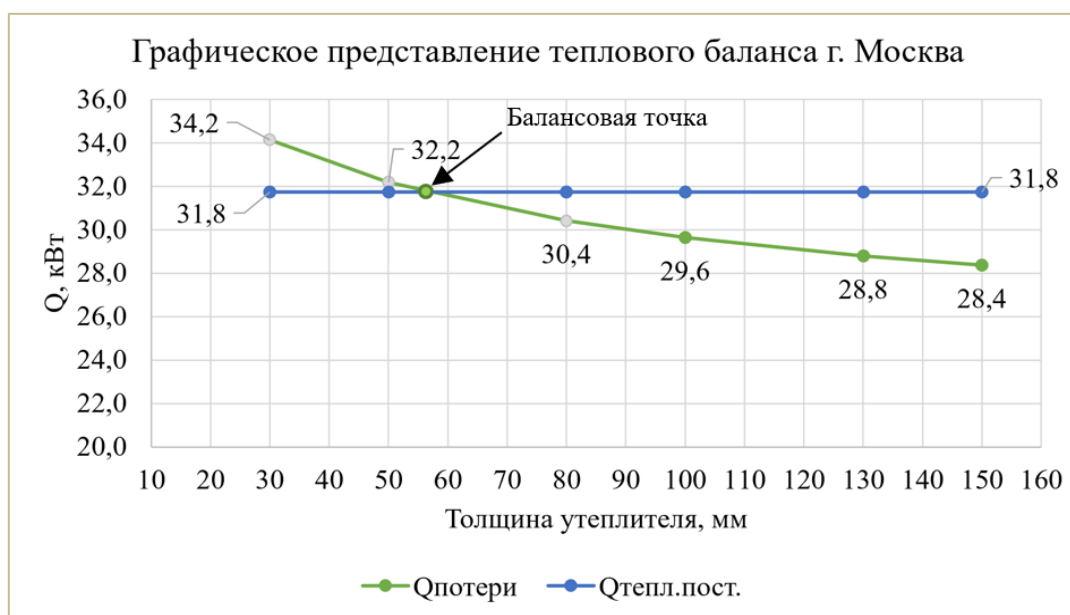


Рисунок 3. Графическое отображение теплового баланса здания, г. Москва (разработано авторами)

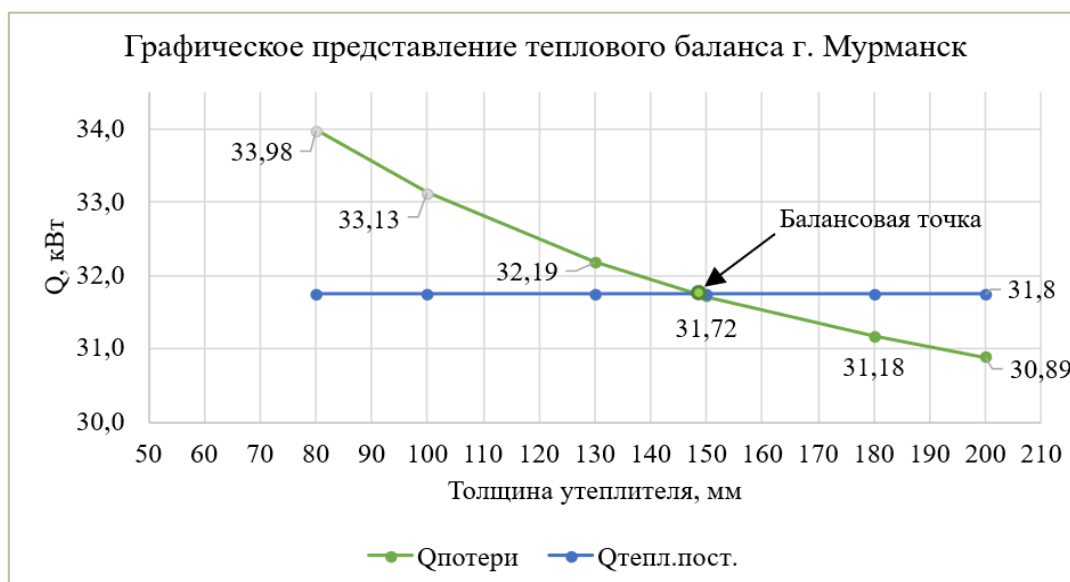


Рисунок 4. Графическое отображение теплового баланса здания, г. Мурманск (разработано авторами)

На графиках отмечена «балансовая точка» — это расчетное значение теплового режима здания, при котором суммарные теплопоступления полностью уравновешивают теплопотери через наружные ограждающие конструкции.

Балансовая точка позволяет определить такие параметры ограждающей конструкции, при которых обеспечивается нормативное значение тепловой защиты здания, а также минимальные эксплуатационные затраты на отопление при условии обеспечения оптимальных параметров микроклимата. Толщина утеплителя для II и IV климатического пояса выбрана ближайшей стандартной к «балансовой точке», с учетом обеспечения требуемого приведенного сопротивления теплопередаче: 100 мм для города Москвы ($R_0^{\text{расч}} = 3,17 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) и 150 мм для города Мурманска ($R_0^{\text{расч}} = 4,36 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$).

Таким образом, проектирование «с запасом» по теплозащите без учета балансовой точки является методологической ошибкой, ведущей к перерасходу материалов, удорожанию строительства, и, парадоксально, к увеличению эксплуатационных расходов из-за необходимости охлаждения перегретых помещений [9].

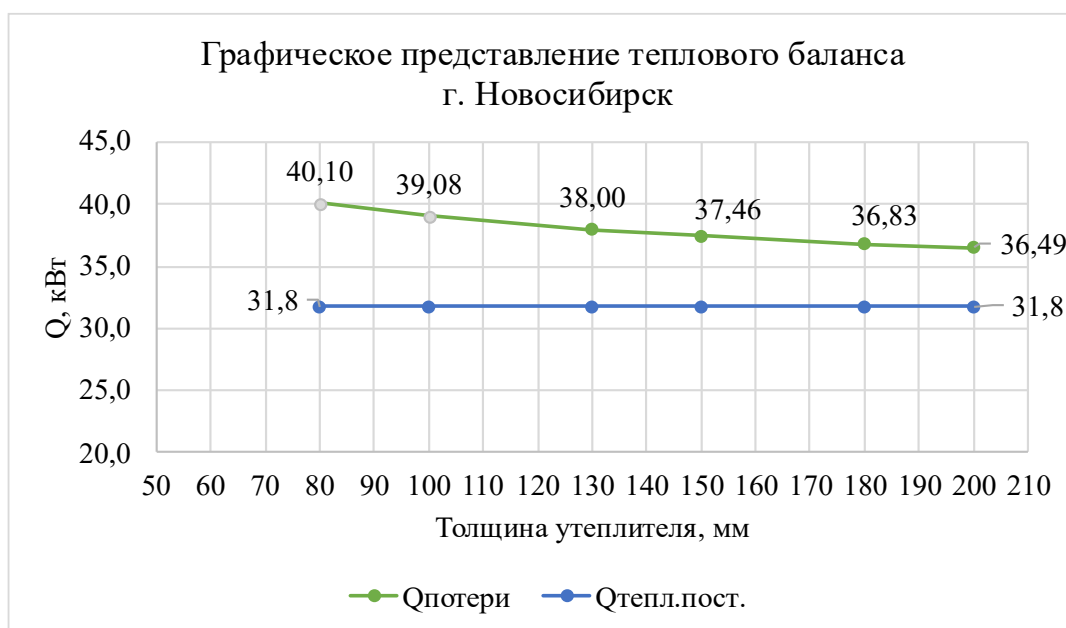


Рисунок 5. Графическое отображение теплового баланса здания, г. Новосибирск (разработано авторами)

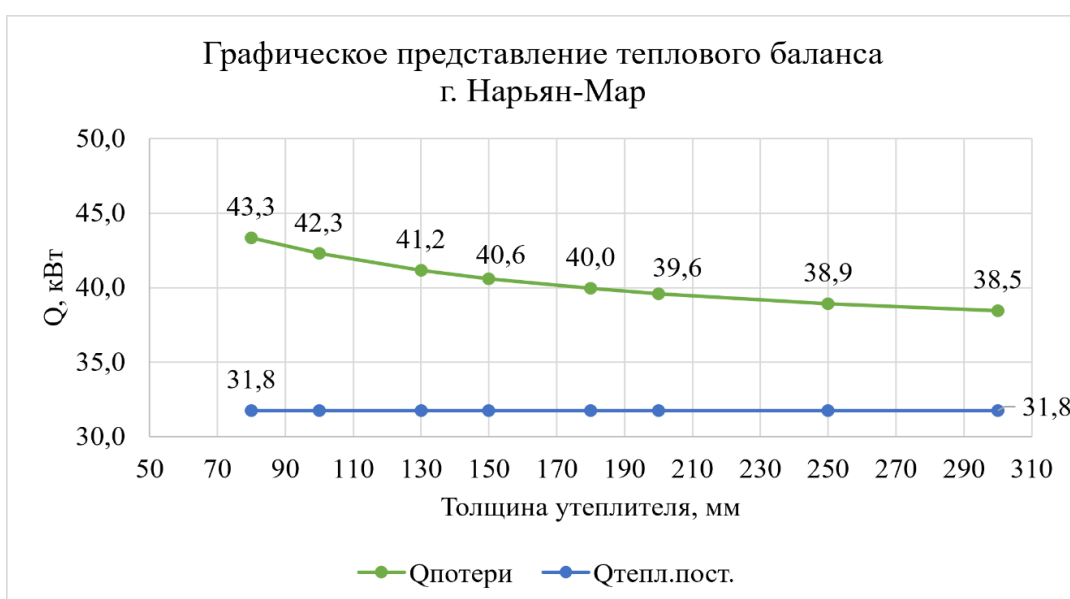


Рисунок 6. Графическое отображение теплового баланса здания, г. Нарьян-Мар (разработано авторами)

Для III климатического пояса (г. Новосибирск) и «особого» климатического пояса расчетный тепловой баланс графически отображен на рисунке 5 и рисунке 6, соответственно.

Анализ теплового баланса здания для холодного периода года показал, что для объекта исследования, проектируемого в III и «особом» климатическом поясе, теплопоступления не компенсируют тепловые потери здания. При этом с увеличением толщины утеплителя интенсивность снижения теплопотерь замедляется. На основании сопоставительного анализа для города Новосибирска рекомендована толщина изоляции 180 мм ($R_0^{\text{расч}} = 5,07 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) и толщина утеплителя 250 мм для города Нарьян-Мар ($R_0^{\text{расч}} = 6,74 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$).

Зимой может наблюдаться конденсация влаги, поэтому при выборе материалов необходимо обеспечить требование не выпадения влаги в несущей конструкции наружной стены. Это возможно, если температура в какой-либо точке ограждающей конструкции будет выше температуры точки росы. Расчет точки росы очень важен в строительстве, он позволяет определить тип материала и толщину стен. Игнорирование или неправильный расчет точки росы ведет к образованию плесени. Это оказывает негативное влияние на долговечность здания, значительно сокращая срок его эксплуатации [10; 11].

Температура точки росы для помещений определена по одной из разработанных методик⁷:

$$t_p = \frac{b \cdot \left(\frac{a \cdot t_{\text{вн}}}{b + t_{\text{вн}}} + \ln \left(\frac{\varphi}{100} \right) \right)}{a - \left(\frac{a \cdot t_{\text{вн}}}{b + t_{\text{вн}}} + \ln \left(\frac{\varphi}{100} \right) \right)}, ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где:

$t_{\text{вн}}$ — температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$;

a — коэффициент = 17,27 (константа);

b — коэффициент = 237,7 (константа);

φ — влажность внутреннего воздуха, %.

Для помещений с температурой внутреннего воздуха $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$ и влажностью внутреннего воздуха $\varphi = 50\%$ температура точки росы, рассчитанная по формуле (1), составила $t_p = 9,25^\circ\text{C}$.

График падения температуры внутри конструкции наружной стены для I и «особого» климатического пояса представлен на рисунках 7 и 8, соответственно. Компоненты наружной стены (раствор цементно-перлитовый, кирпичная кладка, плиты минераловатные) на рисунках 7–11 указаны сокращенно и соответствуют данным, представленным в таблице 3.

Температура точки росы $t_p = 9,25^\circ\text{C}$ находится в слое утеплителя, что соответствует требуемым эксплуатационным параметрам и нет необходимости в дополнительных мероприятиях по влагозащите.

График падения температуры внутри конструкции наружной стены для II, III и IV климатического пояса представлен на рисунках 9, 10 и 11, соответственно.

⁷ Шихов А. Н. Теория и практика теплотехнических, звукоизоляционных и светотехнических расчетов ограждающих конструкций зданий: учебное пособие / Министерство науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «Пермский аграрно-технический университет имени академика Д. Н. Прянишникова». — Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2023. — 118 с. // Электронная версия печ. публ. — URL: <https://studfile.net/preview/21441474/> (дата обращения: 25.04.2026).

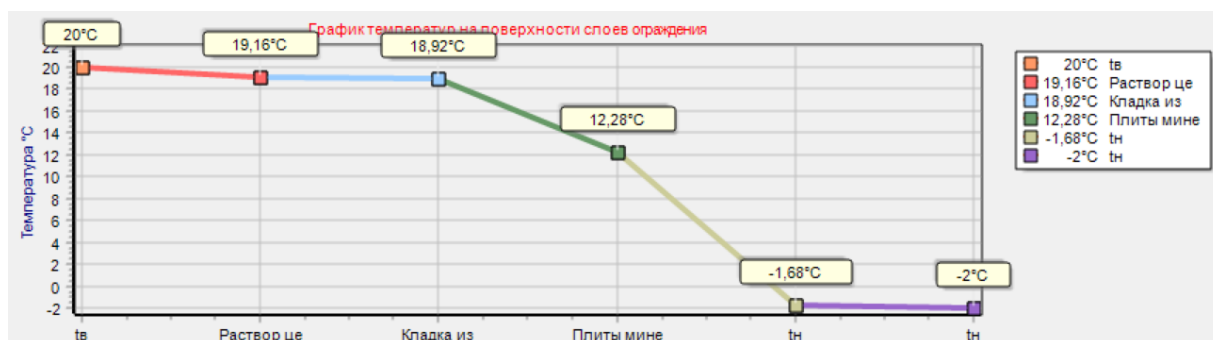


Рисунок 7. График падения температуры в ограждающей конструкции, г. Сочи (разработано авторами)

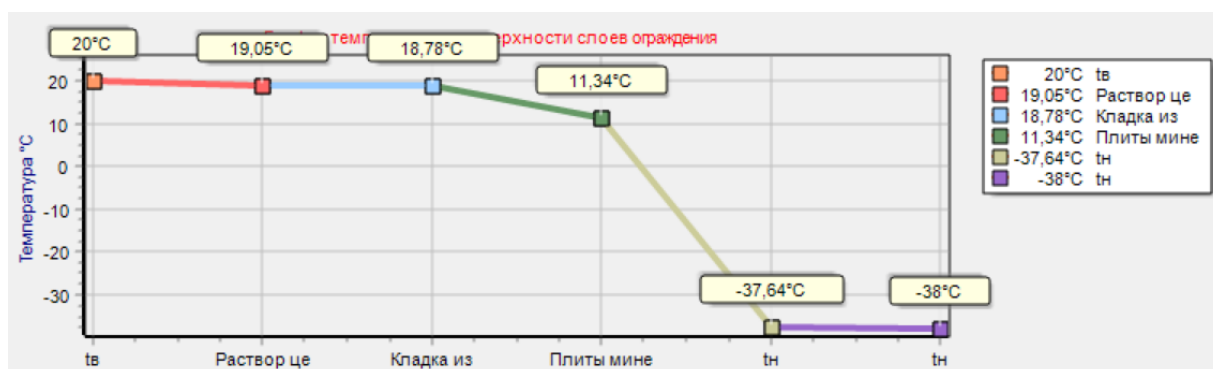


Рисунок 8. График падения температуры в ограждающей конструкции, г. Нарьян-Мар (разработано авторами)

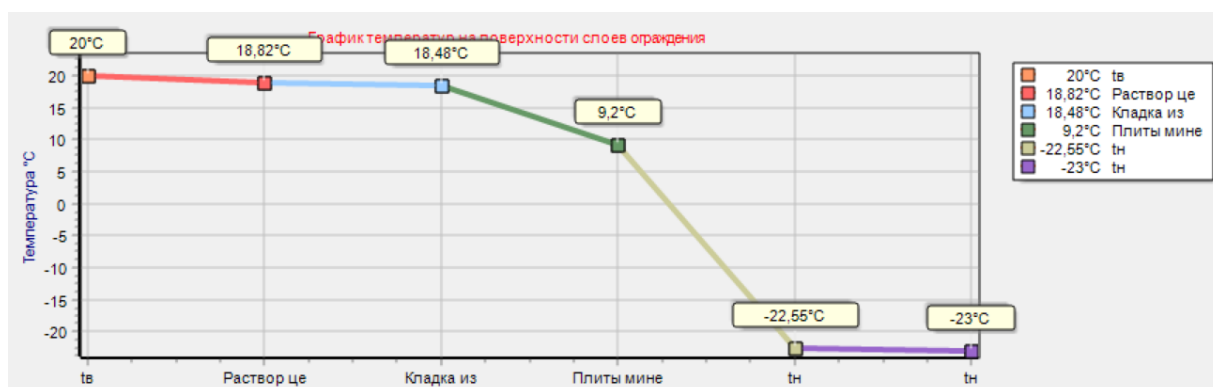


Рисунок 9. График падения температуры в ограждающей конструкции, г. Москва (разработано авторами)

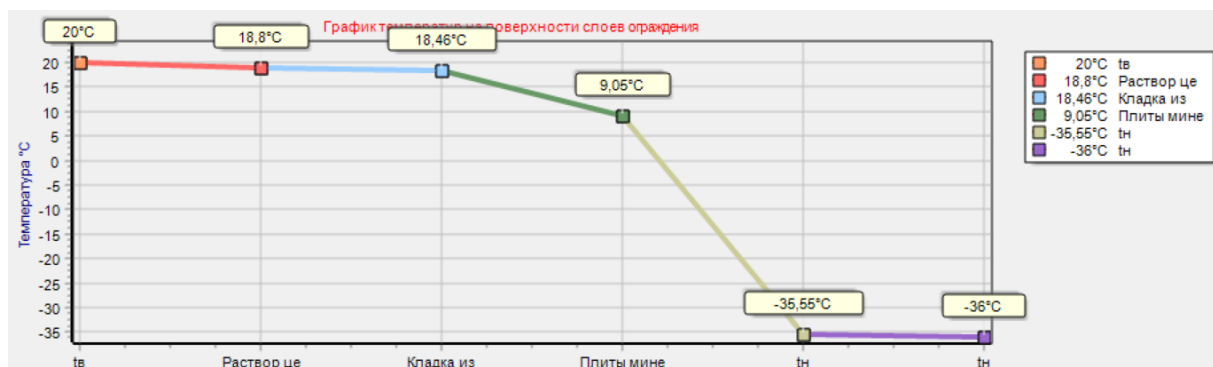


Рисунок 10. График падения температуры в ограждающей конструкции, г. Новосибирск (разработано авторами)

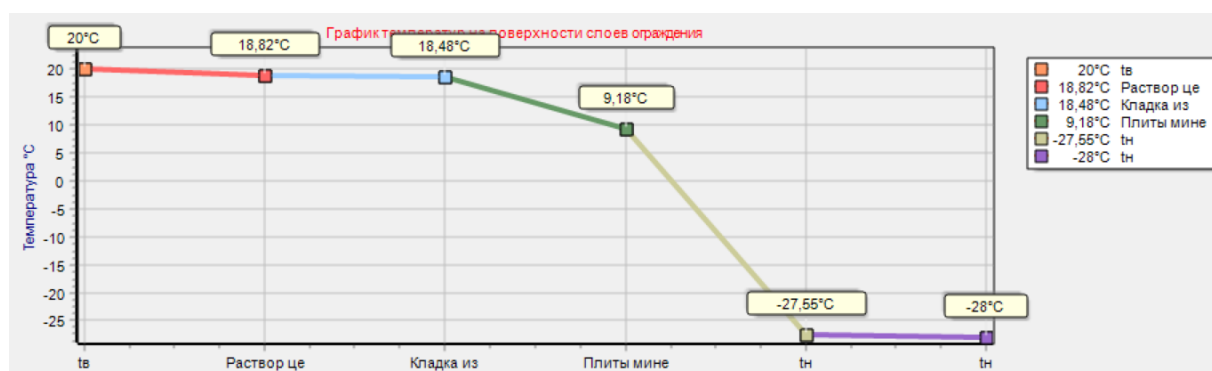


Рисунок 11. График падения температуры в ограждающей конструкции, г. Мурманск (разработано авторами)

Температура точки росы $t_p = 9,25^{\circ}\text{C}$ для II–IV климатического пояса находится на поверхности кирпичной кладки и утеплителя, что требует дополнительных мер по предотвращению конденсации влаги в несущей конструкции. В данном случае необходим монтаж не только пароизоляционной пленки на стыке кирпичная кладка-утеплитель, но и пароизоляции со стороны помещений для предотвращения поступления водяного пара в наружную стену. Другой вариант решения проблемы — уменьшение кирпичной кладки до 250 мм, однако для III–IV климатических зон это менее эффективное решение, так как потребуется увеличение толщины утеплителя для достижения требуемой тепловой защиты.

Обеспечение качественного воздушного обмена в помещениях дошкольных образовательных учреждений является одной из ключевых задач при проектировании и эксплуатации зданий. Дети в возрасте от 1,5 до 7 лет обладают повышенной чувствительностью к концентрации углекислого газа, пыли и микроорганизмов.

Система вентиляции в контексте проектирования зданий общественного назначения (в частности, дошкольных учреждений) представляет собой комплексную инженерную подсистему, предназначенную для контролируемого воздухообмена.

В практике проектирования дошкольных образовательных учреждений преимущественно применялась естественная вентиляция, однако в условиях современных требований к качеству микроклимата и энергоэффективности данный подход утратил свою актуальность по следующим причинам:

- Нестабильный воздухообмен. Интенсивность естественной вентиляции зависит от разности температур внутреннего и наружного воздуха, скорости и направления ветра. В теплый период года гравитационное давление снижается, и воздухообмен практически прекращается, что приводит к накоплению углекислого газа в помещениях.
- Возникновение сквозняков. В холодное время года нерегулируемый приток холодного воздуха посредством проветривания создает дискомфортные условия для детей, повышая риск простудных заболеваний.
- Невозможность нормируемого воздухообмена. Естественная вентиляция не позволяет точно дозировать объем подаваемого и удаляемого воздуха, что делает невозможным обеспечение санитарно-гигиенических требований.

Учитывая перечисленные особенности, современное проектирование дошкольных образовательных учреждений предусматривает обязательное применение механической приточно-вытяжной вентиляции. Отличительной особенностью современных систем вентиляции является возможность поддержания требуемых параметров микроклимата и наличие

автоматических устройств управления. Обеспечение качественного воздушного обмена в помещениях дошкольных образовательных учреждений (ДОУ) является одной из ключевых задач при проектировании и эксплуатации зданий [12].

В состав **прямоточной приточной вентиляционной установки** входят: регулирующая заслонка с сервоприводом, фильтр грубой очистки, фильтр тонкой очистки, водяной воздухонагреватель первой ступени, оросительная камера, воздухонагреватель второй ступени, приточный вентилятор и шумоглушитель. На рисунке 12 представлена проектируемая установка с основным вентиляционным оборудованием.

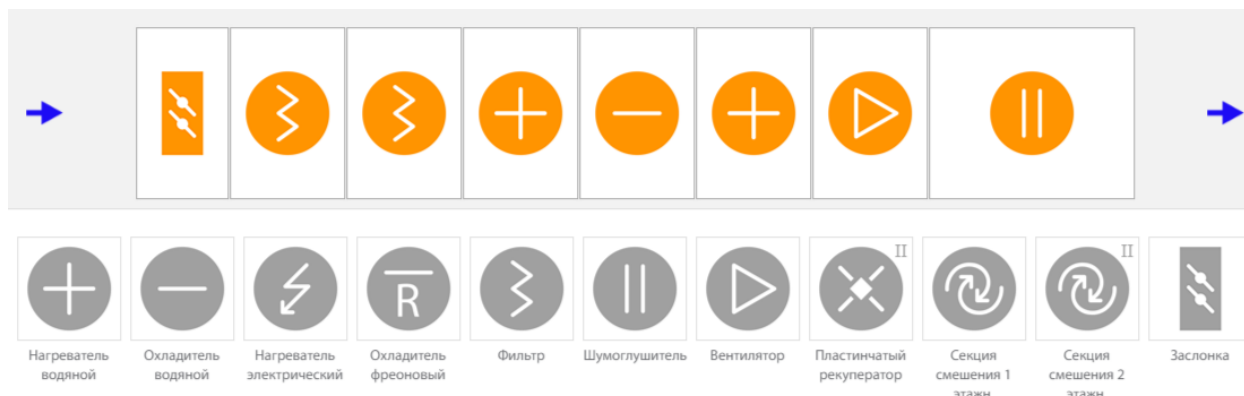


Рисунок 12. Прямоточная приточная вентиляционная установка (составлено авторами)

Поддержание нормативных параметров микроклимата в помещениях дошкольных учреждений требует не только контроля температуры, но и относительной влажности воздуха, которая должна находиться в диапазоне 40–60 %. Для этого в состав приточных вентиляционных установок входят камеры увлажнения и осушения воздуха.

В холодный период года относительная влажность наружного воздуха после нагрева в калорифере падает до 5–10 %, что значительно ниже санитарных норм. Подача сухого воздуха в помещениях приводит к пересыханию слизистых оболочек, снижению местного иммунитета и повышению заболеваемости. Установка камеры увлажнения позволяет восстановить нормативную влажность, обеспечивая комфортные условия.

В теплый период года, наружный воздух в большинстве регионов характеризуется высокой относительной влажностью (75–85 %). Подача такого воздуха без предварительной осушки создает риск конденсации влаги на поверхности, развития плесени и ухудшения самочувствия детей. Применение камеры осушения позволяет удалять избыточную влагу и поддерживать требуемые параметры микроклимата. Процессы осушки и увлажнения воздуха проводятся в оросительных камерах.

При расчете схемы прямоточной приточной вентиляционной установки были определены:

1. Полная производительность установки определена по формуле [10]:

$$G'_n = 1,05 \cdot G_n \cdot \frac{\kappa^2}{\varphi}, \quad (2)$$

где:

G_n — расчетная производительность установки, кг/ч.

Полная производительность и расчетный расход холода определены с учетом утечки воздуха в распределительной сети в размере 5 %.

2. Расход тепла в калорифере первого подогрева:

$$Q_{m1} = \frac{G'_n \cdot (I_T - I_H)}{3,6}, Bm, \quad (3)$$

где:

I_T, I_H — энтальпия, соответственно, воздуха после калорифера первого подогрева и наружного воздуха, $кДж/кг$.

3. Расход тепла в калорифере второго подогрева:

$$Q_{m2} = \frac{G'_n \cdot (I_{II} - I_O)}{3,6}, Bm, \quad (4)$$

где:

I_{II}, I_O — энтальпия, соответственно, приточного воздуха и после оросительной камеры с учетом подогрева в вентиляторе и воздуховоде, $кДж/кг$.

Для расчета по формулам (2–4) построены процессы обработки воздуха на I,d-диаграмме, и определены параметры воздуха в характерных точках. Рассчитанные затраты тепла на подготовку приточного воздуха в вентиляционной установке для 5-ти климатических поясов и представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Результаты расчета затрат тепла на подготовку
приточного воздуха в приточной вентиляционной установке**

	$G'_n, кг/ч$	Q_{m1}, Bm	Q_{m2}, Bm	Q_m, Bm
I климатический пояс (г. Сочи)	4390	22 391	15 952	38 343
II климатический пояс (г. Москва)		53 856	15 952	69 808
III климатический пояс (г. Новосибирск)		70 698	15 952	86 650
IV климатический пояс (г. Мурманск)		60 405	15 952	76 357
«Особая» климатический пояс (г. Нарьян-Мар)		73 198	15 952	89 150

Разработано авторами

Выполненный расчет показал, что тепловая мощность, необходимая для нагрева приточного воздуха до требуемых параметров в приточной установке, значительно превышает расчетные теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, компенсируемые системой отопления. Данное соотношение подтверждает, что вентиляционная составляющая является доминирующей в общем тепловой балансе объекта и составляет основную долю эксплуатационных затрат. Таким образом, доказана актуальность разработки энергоэффективных решений для системы вентиляции, направленных на снижение затрат энергии.

Сводный анализ полученных данных представлен на рисунке 13.

Наиболее распространенным способом снижения затрат энергии в системах вентиляции является применение рециркуляции вытяжного воздуха посредством смешения с чистым приточным воздухом. Однако в условиях дошкольных образовательных учреждений, где дети проводят длительное время в закрытых помещениях, риск распространения респираторных заболеваний особенно высок. При рециркуляции, если воздух не проходит должную очистку и обеззараживание, вирусы могут многократно циркулировать внутри помещений, увеличивая риск заражения детей и персонала. Дополнительное оборудование, затраты на эксплуатацию и выполнения регламента по обслуживанию требуют рассмотреть другие способы снижения затрат энергии. Другим энергоэффективным способом является установка рекуператоров, передающих тепло от нагретого удаляемого вытяжного воздуха холодному приточному. Наибольшее распространение получили пластинчатые и роторные рекуператоры, так как являются наиболее эффективными и простыми в обслуживании [13].

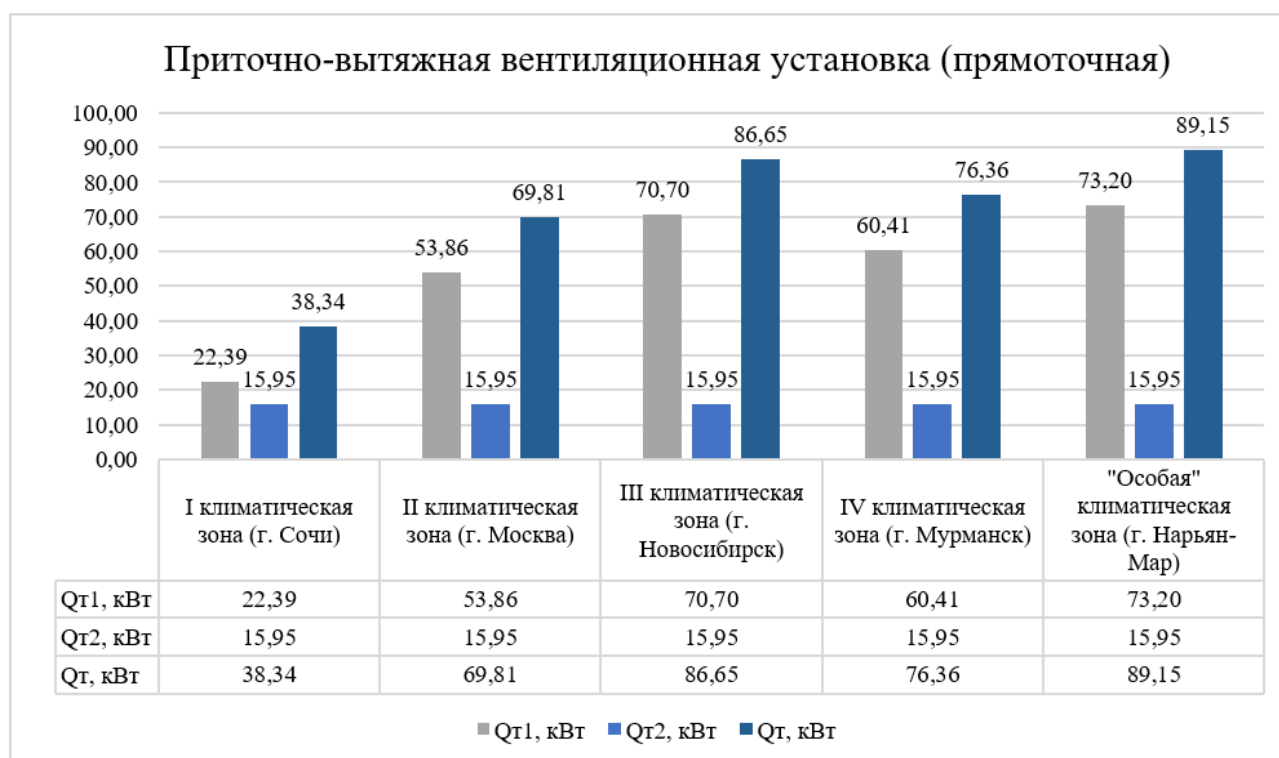


Рисунок 13. Сводный анализ расчетных затрат энергии на обработку воздуха в прямоточной вентиляционной установке (разработано авторами)

Пластинчатый рекуператор обеспечивает полную герметичность потоков, эффективность рекуперации тепла достигает 65–75 %. Главным недостатком пластинчатого рекуператора является уязвимость к морозу. Как только температура воздуха опускается ниже точки росы, начинается интенсивная конденсация влаги на поверхности пластин. При дальнейшем охлаждении ниже 0°C сконденсированная влага замерзает, и на пластинах образуется лед. При температуре наружного воздуха ниже -7°C необходимо принимать меры против обмерзания посредством установки калорифера предварительного подогрева. Роторный рекуператор более устойчив к морозам, так как рабочая поверхность попеременно омывается холодным и теплым потоками и поэтому лед не успевает образовываться, эффективность рекуперации достигает 75–90 %. Рекуператор способен работать до температур -25°C без дополнительных мер по защите. Однако в районах III, IV и «особого» климатического пояса также требуется установка калорифера предварительного подогрева для защиты от обмерзания.

Компоновочная схема приточно-вытяжной вентиляционной установки с рекуперацией тепла представлен на рисунке 14. Помимо оборудования, описанного в составе прямоточной приточной установки, добавлено оборудование вытяжной линии (шумоглушитель, вытяжной вентилятор, регулирующая заслонка), а также сам рекуператор.

Для I климатического пояса принимается установка пластинчатого рекуператора, т. к. расчетная температура наружного воздуха не опускается ниже -7°C. Для II климатического пояса выполнен расчет затрат тепла при установке пластинчатого и роторного рекуператора.

Начиная с III климатического пояса применение пластинчатого рекуператора нецелесообразно, так как расчетная температура наружного воздуха меньше -25°C, соответственно требуется значительный предварительный подогрев (не менее 26,5 кВт). Поэтому для III, IV и «особого» климатического пояса однозначно рекомендовано применение роторного рекуператора.

Таблица 5

Результаты расчета затрат тепла на подготовку приточного воздуха в приточно-вытяжной вентиляционной установке с рекуперацией тепла

	$G_p, \text{кг/ч}$	$Q_{m1}, \text{Вт}$	$Q_{m2}, \text{Вт}$	$Q_{m3}, \text{Вт}$	$Q_m, \text{Вт}$
I климатический пояс (г. Сочи)	4390	0	4 354	15 952	20,3
II климатический пояс (г. Москва) пластинчатый рекуператор		20 001	12 257	15 952	48,2
II климатический пояс (г. Москва) роторный рекуператор		0	16 025	15 952	32,0
III климатический пояс (г. Новосибирск)		13 915	17 318	15 952	47,2
IV климатический пояс (г. Мурманск)		4 390	17 135	15 952	36,9
«Особый» климатический пояс (г. Нарьян-Мар)		16 415	17 318	15 952	49,7

Разработано авторами

Сводный анализ полученных данных представлен на рисунке 15.



Рисунок 15. Сводный анализ расчетных затрат энергии на обработку воздуха в приточно-вытяжной вентиляционной установке с рекуперацией тепла (разработано авторами)

Исходя из полученных данных, для II климатической зоны оптимально применение роторного рекуператора, так как несмотря на большие, по сравнению с пластинчатым рекуператором, капитальные и эксплуатационные затраты, выигрыш в затратах тепла оказывается значительным (около 17 кВт).

Результаты исследований и обсуждение

На основании теплового баланса здания, составленного для объекта исследования, расположенного в пяти климатических поясах, была установлена оптимальная толщина утеплителя для наружной стены. Сравнительный анализ полученных данных по оптимальной толщине тепловой изоляции представлен на рисунке 16.

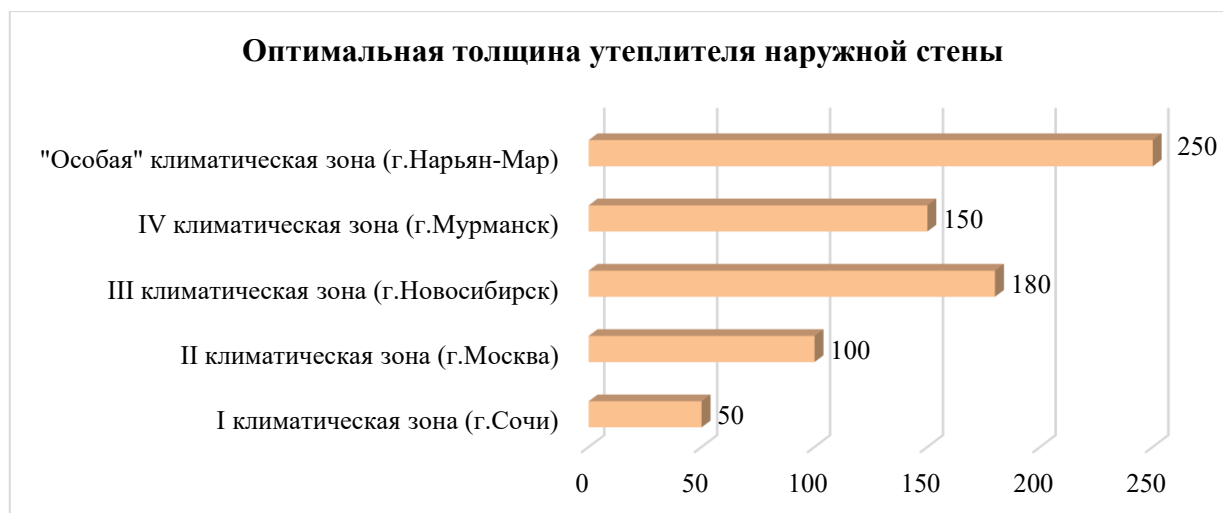


Рисунок 16. Оптимальная толщина утеплителя
для пяти климатических поясов России (разработано авторами)

Результаты исследований подтверждают то, что каждый объект проектирования требует индивидуальных теплотехнических расчетов. Выбор толщины тепловой изоляции без учета балансовой точки теплового баланса здания является методологически необоснованным, поскольку избыточное увеличение сопротивления теплопередаче не дает соразмерного энергосберегающего эффекта, но при этом ведет к удорожанию капитальных затрат на строительство, а в ряде регионов, к образованию теплоизбытков, требующих дополнительных затрат на охлаждение помещений [14].

На рисунке 17 отображен сравнительный анализ требуемых затрат тепла на работу системы отопления при условии применения толщины утеплителя с нормируемым сопротивлением теплопередаче (выделено оранжевым цветом), а также затраты тепла при применении утеплителя, рассчитанного в ходе исследований (выделено зеленым цветом).

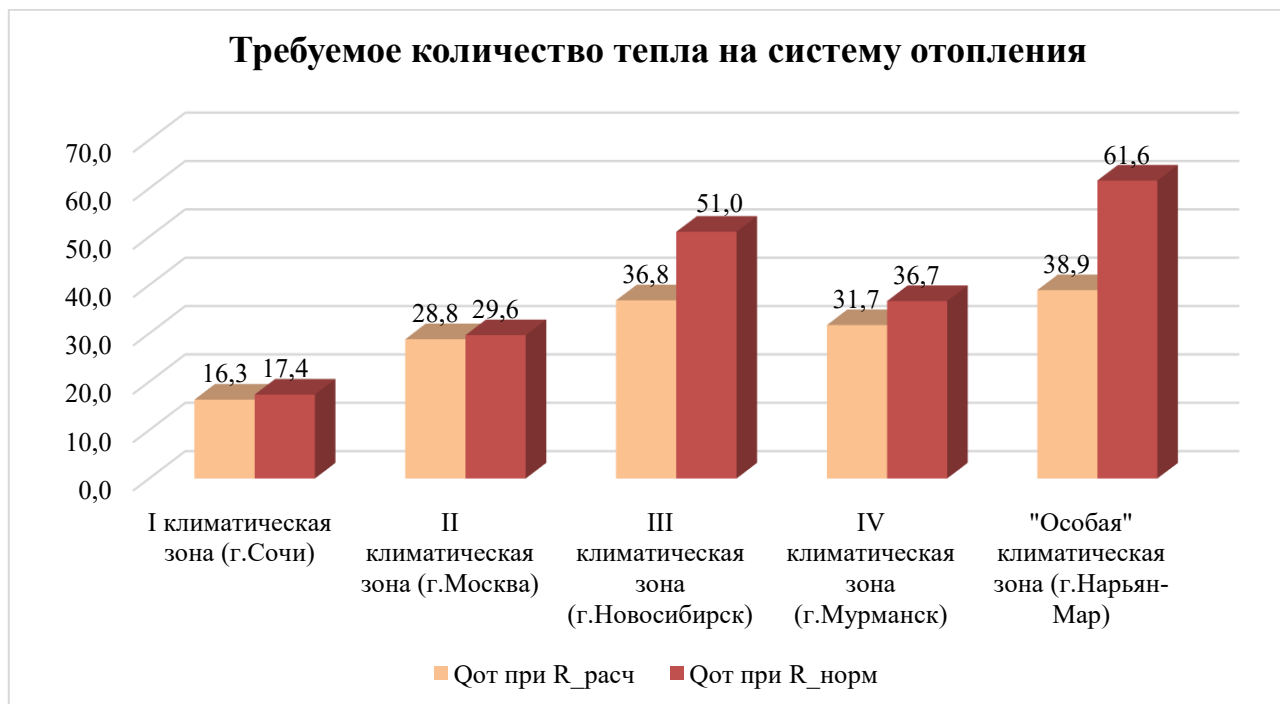


Рисунок 17. Сравнительный анализ затрат тепла на систему отопления при
нормированной и расчетной толщине утеплителя наружной стены (разработано авторами)

На основании сравнительного анализа выявлено: применение толщины утеплителя, определенной на основе оптимизации теплового баланса, обеспечивает снижение теплоснабжения системой отопления по сравнению с вариантом, рассчитанным исключительно по нормируемому сопротивлению теплопередаче. Полученная разница подтверждает, что учет внутренних теплопоступлений и балансовой точки позволяет не только обоснованно снизить капитальные затраты на тепловую изоляцию, но и сократить эксплуатационные расходы на систему отопления.

По построенным графикам падения температуры в ограждающей конструкции (рис. 7–11) сделаны выводы, что для города Сочи и Нарьян-Мар не требуется дополнительных мероприятий по влагозащите. Однако для Москвы, Новосибирска и Мурманска точка росы находится на границе несущей конструкции, что требует дополнительного монтажа пароизоляции.

На основании расчета затрат энергии на обработку воздуха в приточной установке доказана необходимость применения рекуперации тепла вытяжного воздуха. Для I климатического пояса рекомендовано применение пластинчатого рекуператора, для II, III, IV и «особого» климатического пояса рекомендована установка роторного рекуператора. При этом для рекуператоров, расположенных в III, IV и «особом» климатическом поясе, требуется установка калорифера предварительного подогрева воздуха для исключения промерзания рекуператора. Сводный график по снижению затрат энергии при применении рекуперации в холодный период года представлена на рисунке 18.

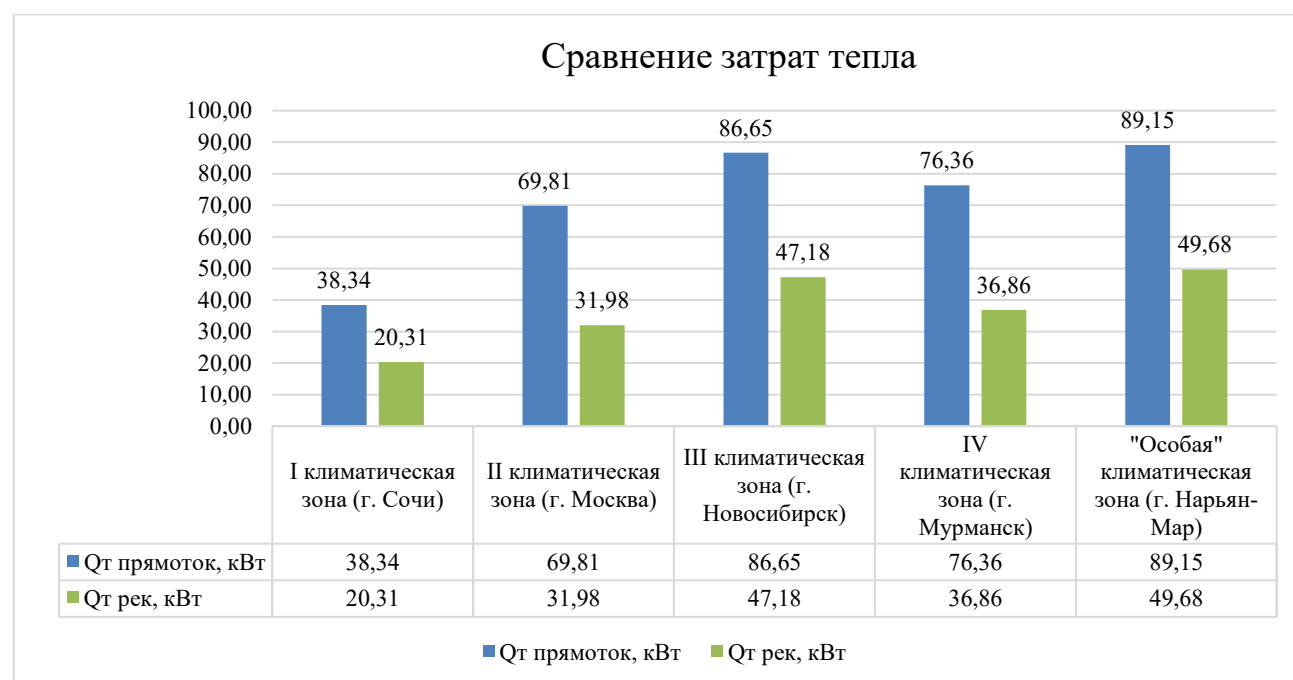


Рисунок 18. Сравнение затрат тепла на обработку воздуха в приточной установке и приточно-вытяжной установке с рекуперацией тепла (разработано авторами)

Согласно полученным данным, при применении рекуперации для I климатического пояса затраты энергии снижены на 47 %, для II климатического пояса затраты энергии снижены на 54 %, для III климатического пояса — на 46 %, для IV климатического пояса — на 52 %, для «особой» климатического пояса — на 44 %.

Поддержание стабильных параметров микроклимата в дошкольных образовательных организациях в переходные периоды года (осень/весна) требует дополнительных мер управления. Эффективным инструментом решения данной проблемы является внедрение

автоматизированных систем управления, обеспечивающих гибкое регулирование теплоотдачи и воздухообмена в реальном времени.

Погодозависимая автоматика на базе индивидуальных тепловых пунктов позволяет корректировать температуру теплоносителя в зависимости от изменения наружной температуры, снижая годовое потребление не менее чем на 15 % без нарушения теплового режима. Термостатические клапаны, устанавливаемые на радиаторах, дополняют эту систему, обеспечивая регулирование и поддержание комфортной температуры внутреннего воздуха в каждом помещении [15].

Автоматизация приточно-вытяжных установок с рекуперацией предусматривает контроль температуры и влажности воздуха, управление работой вентилятора с частотным регулированием, а также мониторинг состояния фильтров и калориферов. Наличие автоматики в современных вентиляционных установках — это не опциональное улучшение, а необходимый элемент системы, без которого корректная работа невозможна.

Заключение

На основании выполненных теплотехнических и энергетических расчетов для объекта исследования, проектируемого в пяти климатических поясах Российской Федерации, можно сформулировать основные выводы и результаты.

1. Климатическая дифференциация является основой для проектирования тепловой защиты здания, систем отопления и вентиляции.
2. Оптимизация толщины тепловой изоляции наружных стен должна выполняться на основе теплового баланса здания, а не только нормативных требований к приведенному значению сопротивления теплопередачи.
3. Применение рекуперации тепла вытяжного воздуха является обязательным энергоэффективным решением для систем вентиляции в условиях современного строительства.
4. Интеграция систем отопления и вентиляции в единый диспетчерский пункт позволяет оперативно отслеживать отклонения параметров и оптимизировать режимы работы оборудования для соблюдения санитарно-гигиенических требований к микроклимату здания.
5. Обоснована необходимость разработки регионально-адаптированных проектных решений с учетом климатических условий на территории Российской Федерации.
6. Представлен комплекс научно-обоснованных и практически реализуемых энергоэффективных инженерных решений, методик и алгоритмов в системах отопления и вентиляции при проектировании объектов социальной инфраструктуры.

В рамках настоящей работы разработан универсальный расчетный комплекс для объектов исследования, позволяющий оперативно менять тип и толщину теплоизоляционного материала наружных ограждающих конструкций с автоматическим пересчетом теплопотерь. Использование данного инструмента существенно сокращает время многовариантных теплотехнических расчетов и дает возможность оценки эффективности конструктивных решений без выполнения трудоемких вычислений. Предложенный подход адаптирован для любых регионов строительства, что значительно расширяет область применения полученных результатов и делает методику востребованной при проектировании зданий различного назначения.

Универсальные решения, основанные на усредненных показателях, неизбежно приводят к перерасходу энергоресурсов или к нарушению нормативных параметров микроклимата. Только индивидуальный расчет является гарантией того, что системы отопления, вентиляции и кондиционирования будут работать с максимальной энергоэффективностью при безусловном обеспечении комфортных и безопасных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богуславский Л. Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1985. — 336с.: ил // Электронная версия печ. публ. — URL: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12975> (дата обращения: 15.03.2026).
2. A methodology to evaluate the optimal insulation thickness for heating and cooling needs in different climatic zones for buildings made of reinforced concrete with cavity walls / A. Gagliano, F. Nocera, S. Aneli, et al. — DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e30922 // Heliyon. — 2024. — Vol. 10, no. 10. — e30922. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30922> (дата обращения: 13.03.2026).
3. Impact of climate variability on optimal thickness of wall insulation: A numerical study across five cold cities using long-term numerical simulations / S. Wang, Y. Liu, et al. — DOI 10.1016/j.enbenv.2026.01.001 // Energy and Built Environment. — 2026. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2026.01.001> (дата обращения: 13.03.2026).
4. Семенкова Е. А. Анализ эффективности применения воздушной прослойки в ограждающих строительных конструкциях // Студенческий научный журнал. — № 21(317). Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», июнь 2025 г. — с. 12–15 — Электронная версия печ. публ. — URL: https://sibac.info/archive/journal/student/21%28317_1%29.pdf (дата обращения: 24.04.2026).
5. Impact of climate variability on optimal thickness of wall insulation: A numerical study across five cold cities using long-term numerical simulations / S. Wang, Y. Liu, et al. — DOI 10.1016/j.enbenv.2026.01.001 // Energy and Built Environment. — 2026. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2026.01.001> (дата обращения: 13.03.2026).
6. Табунщиков Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродяч. — М.: АВОК-ПИРЕСС, 2024. — 240 с. // Электронная версия печ. публ. — URL: [https://dl.booksee.org/genes/43000/23c9151b07478f07c5fe552dad42796c/as/\[Tabunshikov_YU.A.,_Brodach_M.M.\]_Matematicheskoe_\(BookSee.org\).pdf](https://dl.booksee.org/genes/43000/23c9151b07478f07c5fe552dad42796c/as/[Tabunshikov_YU.A.,_Brodach_M.M.]_Matematicheskoe_(BookSee.org).pdf) (дата обращения: 15.04.2026).
7. Evaluation of the optimal thermal insulation thickness for an office building in different climates by means of the basic and modified “cost-optimal” methodology / F. Ascione, N. Bianco, R.F. De Masi, et al. — DOI 10.1016/j.job.2019.100769 // Journal of Building Engineering. — 2019. — Vol. 24. — 100769. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100769> (дата обращения: 27.03.2026).
8. Белова Е. М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами. — М.: Техносфера: ЗАО «Евроклимат», 2006. — 400 с. // Электронная версия печ. публ. — URL: <https://djvu.online/file/QlCd6fUxTvp5?ysclid=mtzoqxop2f371104531> (дата обращения: 21.05.2026).
9. Семенкова Е.А. Определение оптимальной толщины теплоизоляционного материала вентилируемого фасада административного здания. Студенческий научный журнал. —

- № 41(295). Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», декабрь 2024. — Электронная версия печ. публ. — URL: https://sibac.info/archive/journal/student/41%28295_7%29.pdf (дата обращения: 24.04.2026).
10. Кокорин О. Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования: Научное издание. — М.: Издательство АСВ, 2013. — 256 с. // Электронная версия печ. публ. — URL: <https://bookz.ru/trial/pdf/17187010.pdf> (дата обращения: 15.04.2026).
 11. Heat recovery ventilation design limitations due to LHC for different ventilation strategies in ZEB / L. Zender-Świercz, M. Telejko, et al. — DOI 10.1016/j.buildenv.2022.109705 // Building and Environment. — 2022. — Vol. 222. — 109705. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109705> (дата обращения: 17.03.2026).
 12. Healthier Indoor Environments for Vulnerable Occupants: Analysis of Light, Air Quality, and Airborne Disease Risk / C.S.A. Silva, et al. — DOI 10.3390/app15031217 // Applied Sciences. — 2025. — Vol. 15, no. 3. — 1217. — URL: <https://doi.org/10.3390/app15031217> (дата обращения: 25.05.2026).
 13. Indoor Environment in Kindergartens Located in the North of Portugal: Evaluation of Thermal Comfort and Carbon Dioxide Concentration / R.M.S.F. Almeida, et al. — DOI 10.3390/buildings14113360 // Buildings. — 2024. — Vol. 14, no. 11. — 3360. — URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14113360> (дата обращения: 20.04.2026).
 14. Performance evaluation of different building envelopes integrated with phase change materials in tropical climates / R.G. Elenga, L. Zhu, S. Defilla. — DOI 10.1016/j.enbenv.2023.11.008 // Energy and Built Environment. — 2025. — Vol. 6, no. 2. — P. 332–346. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.11.008> (дата обращения: 22.04.2026).
 15. Семенкова Е. А. Оценка эффективности применения прерывистого режима работы системы отопления // XIV Международная научно-техническая конференция, проводимая в ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске «Энергетика, информатика, инновации — 2024». Сборник трудов Том 1, 13–14 ноября 2024 г. — с. 138–142 — Электронная версия печ. публ. — https://www.sbmpei.ru/files/uplfiles/f675a737e48956Tom_1.pdf (дата обращения: 15.03.26).

Kabanova Irina Aleksandrovna

National Research University «MPEI», Smolensk, Russia
E-mail: ir.kabanowa@mail.ru

Bokhanova Elizaveta Aleksandrovna

National Research University «MPEI», Smolensk, Russia
E-mail: semenkova.elizaveta00@mail.ru

Design of energy-efficient heating and ventilation systems considering climatic features of Russian regions

Abstract. The article examines the issues of designing energy-efficient heating and ventilation systems for social infrastructure facilities considering the climatic features of Russian regions. The authors consider various aspects of building thermal protection, representing a set of architectural, structural and thermal engineering solutions aimed at ensuring standard temperature and humidity conditions with minimal operating costs. The relationship between building thermal protection and energy-efficient operation of the heating system is systemic in nature, since the choice of parameters of enclosing structures directly determines the heat load of engineering systems and, consequently, the volume of consumed energy resources. Particular attention is paid to energy saving and reduction of operating costs while unconditionally ensuring the required microclimate parameters. Modern research confirms that to improve the energy efficiency of a building, it is not enough to consider individual engineering solutions — an integrated design approach is required, taking into account the mutual influence of the building's thermal protection properties, operation modes of engineering equipment for heating, ventilation and cooling systems, as well as the operation of automation systems. As a result, a methodology for determining the optimal thickness of insulation based on the building's heat balance, considering internal heat gains, has been developed. Practical recommendations on the types of heat recuperators are given, considering the climatic features of construction areas. The obtained data demonstrated the effectiveness of the proposed engineering solutions, confirming that energy saving is achieved not by applying universal solutions, but through climate-adapted design. The developed recommendations can be used in the design of energy-efficient social infrastructure buildings in various regions of the Russian Federation.

Keywords: energy efficiency; heat balance; building thermal protection; heat recovery; climatic zone; heating and ventilation system; engineering solutions