



doi: 10.18720/CUBS.84.3

Сравнительная оценка ограждающих конструкций на протяжении жизненного цикла здания

Comparative assessment of building envelopes throughout the building life cycle

Д.В. Немова^{1*}, Л.Г. Гареева¹, А.А. Осетрова¹D. Nemova^{1*}, A. Gareeva¹, E. Osetrova¹ ¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Ограждающие конструкции; Теплоизоляция; Тепловая энергия; Энергоэффективность зданий; Жизненный цикл здания; Теплотехнические показатели; Энергосбережение;

KEYWORDS

Building envelope; Thermal insulation; Thermal energy; Energy efficiency of buildings; Building life cycle; Thermotechnical indicators; Energy saving;

АННОТАЦИЯ

В строительной сфере на сегодняшний день возрастает актуальность различных способов повышения энергоэффективности зданий. Одним из важнейших шагов на пути решения данной проблемы является проектирование теплоизоляционных ограждающих конструкций стен с максимально рациональным использованием оптимизированных материалов с точки зрения, как теплофизических, так и экологических характеристик. Авторами статьи были рассмотрены ограждающие конструкции стен, характеризующиеся высокими техническими параметрами и экологическими требованиями. Приведен сравнительный анализ ограждающих конструкций стен, на основании которого выведена наиболее эффективная конструкция стены. Для анализа были рассмотрены шесть основных вариантов возведения зданий: кирпич, пеноблок, брус клееный, деревянный каркас, легкие стальные тонкостенные конструкции, соломенные блоки и показаны их теплоизоляционные свойства и все необходимые характеристики.

ABSTRACT

The relevance of various ways to improve the energy efficiency of buildings is increasing in the construction industry. One of the most important steps to solve this problem is the design of thermal insulation walling structures with the most rational use of optimized materials from the point of view of both thermal and environmental characteristics. The authors of the article considered walling structures characterized by high technical parameters and environmental requirements. A comparative analysis of the enclosing structures of the walls is given, on the basis of which the most efficient wall construction is derived. For the analysis, six main options for the construction of buildings were considered: brick, foam block, laminated veneer lumber, wooden frame, light steel thin-walled structures, straw blocks and their thermal insulation properties and all the necessary characteristics were shown

Содержание

1.	Введение	34
2.	Методы	37
3.	Результаты и обсуждение	43
4.	Заключение	47

1. Введение

Сохранение энергии является важной задачей, направленной не только на экономию средств, но и на поддержание мировой экологии. Поэтому, во всем мире уделяют большое внимание вопросу энергоэффективности зданий [1-4]. В России постепенно совершенствуются требования к энергоэффективности зданий как на федеральном [5], так и на региональном [6] уровне. В странах ЕС соблюдение норм энергоэффективности контролируется с помощью EPBD – директивы ЕС по энергетическим характеристикам зданий. Обновленная в 2017 году директива обязывает к 2050 году привести все здания к почти нулевому уровню потребления энергии [7].

По данным исследования американского совета ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy) Россия занимает последнее место по рациональному использованию энергии [8]. При этом первые места в данном рейтинге занимают Германия и Великобритания.

Причиной такого низкого рейтинга России может служить большой износ жилого фонда вследствие возраста зданий. Потеря тепла в таких домах достигает 80%.

В соответствии с действующими нормами, в России требования по энергоэффективности предъявляются к удельному энергопотреблению здания, недопущению конденсата на поверхности ограждающих конструкций, воздухопроницаемости ограждающих конструкций. Совершенствование ограждающих конструкций позволяет снизить теплопотери, систем вентиляции - уменьшить потребление энергии, систем отопления – уменьшить теплопотери на транспортировку и распределение теплоносителя.

Одна из основных причин большого расхода энергии являются потери через ограждающие конструкции – порядка 40% тепла. Это особенно актуально для старых зданий с устаревшей конструкцией стен. Высокие требования к тепловой защите зданий, соответствующие современным требованиям энергосбережения, отраженные в нормативных документах по тепловой защите, диктуют необходимость раз-работки и внедрения энергоэффективных ограждающих конструкций с использованием высококачественных теплоизоляционных материалов. В противном случае, как толщина наружных ограждающих конструкций, так и их стоимость были бы завышены.

Известно, что актуальность способов повышения энергоэффективности зданий с каждым годом набирает свою популярность. Это тенденция растет с целью сэкономить энергетические ресурсы, повысить эффективность использования всех затрат на строительство и эксплуатацию здания, улучшить экологическую, финансовую стороны и качество жизни человека. Государственная политика РФ издала федеральный закон №261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», где прописан вопрос о снижении теплопотребления ежегодно на 3%. [1]

Поставленная задача улучшить энергоэффективность зданий может быть достигнута путем сокращения тепловых потерь ограждающих конструкций, а также с помощью грамотного использования инженернотехнических ресурсов в системах проектируемого или реконструируемого объекта. Важно отметить, что соответствие ограждающих конструкций теплотехническим требованиям помогает повысить энергоэффективность здания, а именно снизить затраты на использование энергетических ресурсов в инженерных системах с помощью оптимального инженерно-технического метода. Учитывая данную взаимосвязь, необходимость в сравнительном анализе для выявления наиболее оптимальной, экономически выгодной ограждающей конструкции бесспорна, что и является новизной работы.

Ограждающие конструкции в отапливаемых общественных и жилых зданиях должны также отвечать таким требованиям, как прочность и устойчивость, огнестойкость и долговечность, архитектурная выразительность и экономичность. Выбор ограждающих конструкций происходит в зависимости от температурновлажностного режима здания, конструктивного решения, физических свойств, климатологических характеристик района застройки, а также в соответствии с требованиями сопротивления теплопередаче.

Такие критерии как прочность и устойчивость, огнестойкость и долговечность, архитектурная выразительность и экономичность были рассмотрены в различных отечественных и зарубежных работах. В частности, долговечность ограждающих конструкций была проанализирована в работе Зорина Р. Н., Матяшовой Л. Ю. [2], где выведенные методы прогнозирования позволяют заранее определить срок службы проектируемого здания.

Энергетическая эффективность зданий - это теплотехнические и энергетические параметры здания, которые позволяют обеспечивать нормируемое энергопотребление. Проведенный обзор энергоэффективности ограждающих конструкций зданий России и Европы заключен в статье Субботиной С.А., Шлыковой И.Д., Авдеевой А.А. [3].

В статье Чижова Э.К., Сузанской А.А. [4] рассмотрены различные способы улучшения теплотехнических характеристик реконструируемого здания за счёт применения современных эффективных материалов и технологий. Анализ основных материалов конструкций дан в работах следующих исследователей, как Мотовиловой И.С., Остряковой Ю.Е. [5], где рассмотрен силикатный и керамический кирпич, дерево (сосна), газобетон, пенобетон, керамзитобетон. Облегченная кирпичная кладка проанализирована в работе Манжикова Ч. В. [6], ячеистый бетон – в работе Гринфельда Г.И., Коркиной Е.В., Пастушкова П.П., Павленко Н.В., Ерофеевой И.В. [7], ЛСТК-панели, кирпичная кладка, полистеролбетон испытаны в работе Мошковой Е.А., Туевой Т.В., Антончик Т.В., Егоровой П.А. [8], ограждающие конструкции из бруса рассчитаны в работе Кузина А. Я., Хуторного А.Н., Хонт С.В. [9]. В работе Федюка Р.С. [10] приведены результаты исследований теплотехнических и эксплуатационных свойств монолитных железобетонных наружных стен с применением опалубки из строительного пенополистирола с учетом реальных условий эксплуатации.

Следует отметить, что все научные исследования и расчеты опираются на действующую нормативную базу, которую поэтапно проанализировали в своей работе Горшков А.С., Ливчак В.И. [11]. Исследователи провели исторический экскурс, где показана трансформация расчетных формул, изменение размерностей физических величин, терминов. Данная тема нашла свое отражение в работах Табунщикова Ю.А., Гагарина В.Г., Васильева Г.П. [12,13,14], Найденко А.В. [15].

С точки зрения оптимального выбора конструкции стен для высотного строительства г. Санкт-Петербург была рассмотрена статья Червовой Н.А. и Кукушкиной Г.А. [16], где были рассмотрены два основных типа внешних ограждающих конструкций – поэтажно самонесущие стены и навесные панели. В статье Петрянина Л.Н. [17] оптимизирована конструкция панельных стен жилых зданий в зависимости от климатических условий. В работе Фисун В.А. [18] дана характеристика применяемых ограждающих конструкций из сэндвичпанелей, где отражены их достоинства и приведена классификация легких конструкций стен и покрытий по видам эффективных утеплителей.

Возрастающие требования к тепловой защите зданий, отраженные в нормативных документах по тепловой защите [19], диктуют необходимость оптимизации или разработки и внедрения энергоэффективных ограждающих конструкций с использованием высококачественных теплоизоляционных материалов. Данные задачи рассмотрены в статье Сотникова А.А., Гойкалова А.Н. [20], где указаны современные решения тепловой защиты ограждающих конструкций зданий, возводимых на территории Российской Федерации. Вышеуказанная проблема отражена также в работе Шойхета Б.М. [21]. Автор своей работы рассмотрел влияние конструктивных факторов, тепловых мостиков, воздухопроницаемости теплоизоляционных материалов и качества монтажа на энергоэффективность навесных фасадов. Основные недостатки многослойных ограждающих конструкций с наиболее популярными теплоизоляционными материалами минеральной ватой и пенополистеролом отражены в работе Енюшина В.Н., Нурмухаметовой А.Д., Хаеретдиновой А.Д. [22]. Следовательно, целесообразным можно считать использование дорогостоящего и долговечного материала ограждающих конструкций, который окупится через некоторое время путем экономии энергоресурсов и средств на содержание здания, что было также отражено исследователями, как Езерским В.А. и Монастырёвым П.В. [23].

К вопросу о необходимости повышения энергоэффективности жилых зданий и внедрения энергосберегающих технологий, которые отмечены в статье Овчинникова К.С. [24] выявлена необходимость оснащённости зданий автоматизированными управляемыми системами отопления с пофасадным авторегулированием. В работе определены основные дефекты устройства фасадных систем: зазоры в стыках плит утеплителя, зазоры в стыках кронштейнов с плитой утеплителя, отслоения плиты утеплителя от слоя основания. Важно отметить, что здесь также приведен порядок оценки экономической эффективности проектов повышения энергоэффективности жилых зданий. Тот же вопрос затронут в работе Цзин Лу [25], который предлагает стратегию по снижению потребления энергии зданием путем комбинации фасадных систем, приспособляя их к соответствующим теплотехническим характеристикам конструкций объекта и требованиям потребителей. Неоднородные ограждающие конструкции изучены исследованиями [26, 27, 28].

Важно отметить экономическую сторону утепления ограждающих конструкций, которая рассмотрена в работе исследователями Морозовым М.И., Руденко Н.Н. [29], где произведен анализ экономического анализа увеличения уровня теплозащиты ограждающих конструкций.

Неизменно важным опытом к изучению дальнейшего исследования является разработка, существенно повышающая теплотехнические свойства наружных ограждений. К ней относится динамическая теплоизоляция глухих участков стен. Сущность предложенного разработчиками способа теплоизоляции основана на движении потока свежего наружного или теплого вентиляционного воздуха в толще стены параллельно ее плоскости с выходом в атмосферу или помещение [30, 31, 32].

В области инженернотехнического обеспечения, влияющего на показатель энергоэффективности здания, специалистами Германии было подсчитана мощность инженерного оборудования зданий, которую можно сократить на 50% и более [33, 34] при рациональном решении теплоизоляции зданий.

Определяющим фактором для использования любого конструктивного решения является техникоэкономические показатели изготовления конструкции. В условиях рыночной экономики инвесторы, вкладывающие деньги в строительство, очень внимательно относятся к проблеме оптимизации строительных конструкций. Снижение расходов на изготовление ограждающих конструкций, обеспечив требования прочности, устойчивости, огнестойкости, долговечности, экономичности, безопасности и соответствие конструкции теплотехническим нормам, является актуальной проблемой при их проектировании.

Проведенный обзор позволяет сформулировать следующие задачи исследования:

определение наилучшего сочетания материалов и влияние последних на оптимальное решение;

анализ результатов расчёта и обоснование выбора вида ограждающей конструкции;

техникоэкономическая оценка конструкций;

моделирование, расчет существующих ограждающих конструкций.

2. Методы

Сравнительный анализ ограждающих конструкций стен

Ограждающие конструкции могут совмещать функции несущих (в том числе самонесущих) и ограждающих конструкций».

Их основное назначение – защита сооружений от воздействия влаги, ветра, шума, радиации, высоких и низких температур, в отличие от конструкций несущих, которые воспринимают в основном силовые нагрузки.

Далее предлагаем рассмотреть виды ограждающих конструкций, которые делятся на 2 типа:

внешние ограждающие конструкции, служащие для защиты от атмосферных воздействий окружающей среды; к ним относятся наружные стены (фасады), покрытие, кровля, полы, светопрозрачные конструкции (окна, фонари);

внутренние ограждающие конструкции, служащие для разделения внутреннего пространства здания, а также тепло и шумоизоляции; к ним относятся внутренние стены и перегородки, перекрытия, заполнения внутренних дверных и оконных проемов.

Как показывает статистика, самый лучший способ для достижения энергоэффективности дома это профессиональная теплоизоляция дома, поскольку основные потери тепла происходят через стены.

Проанализировав рынок строительных технологий, которые наиболее востребованы, в первую очередь, на территории РФ и СНГ, было отдано предпочтение шести основным вариантам возведения зданий:

1. Кирпич.
2. Пеноблок.
3. Брус клееный.
4. Деревянный каркас.
5. Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК).
6. Соломенные блоки.

Для цельного представления, какой состав конструкций стен обладает наилучшими теплоизоляционными свойствами, все необходимые характеристики материалов представим в табличной форме [19, 39].

Таблица 1 Состав конструкции кирпичной стены

Наименование	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/(м·°С)	Толщина слоя, мм
Штукатурка(гипсовая)	800	0,30	5
Кирпичная кладка	1600	0,64	250
Утеплитель минеральная вата	140175	0,046	100
Облицовка фасада кирпичом	1600	0,64	120

Таблица 2 Состав конструкции стены из пеноблока

Наименование	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/(м·°С)	Толщина слоя, мм
Штукатурка(гипсовая)	800	0,30	5

Пеноблок		800	0,37	200
Утеплитель (каменная) вата	минеральная	140175	0,046	100
Облицовка фасада кирпичом		1600	0,64	120

Таблица 3 Состав конструкции стены из бруса клееного

Наименование		Плотность, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/(м·°С)	Толщина слоя, мм
ГКЛ	Обшивка с внутренней стороны	830	0,20	12,5
	+ГВЛ	1200	0,22	12,5
	Каркас под обшивку			27
	Брус	500	0,18	150
	Утеплитель минеральная вата	140175	0,046	100
	Облицовка фасада кирпичом	1600	0,64	120

Таблица 4 Состав конструкции стены из деревянного каркаса

Наименование		Плотность, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/(м·°С)	Толщина слоя, мм
ГКЛ	Обшивка с внутренней стороны	830	0,20	12,5
	+ГВЛ	1200	0,22	12,5
	Деревянный каркас с заполнителем минеральной ватой	140175	0,046	200
	Обрешетка			44
	Фиброцементные панели под кирпич	1550	0,4	15

Таблица 5 Состав конструкции стены из легких стальные тонкостенных конструкций

Наименование		Плотность, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/(м·°С)	Толщина слоя, мм
ГКЛ	Обшивка с внутренней стороны	830	0,20	12,5
	+ГВЛ	1200	0,22	12,5
	Стальной каркас с заполнителем минеральной ватой	140175	0,046	200
	Обрешетка			44
	Фиброцементные панели под кирпич	1550	0,4	15

Таблица 6 Состав конструкции стены из соломенных блоков

Наименование		Плотность, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/(м·°С)	Толщина слоя, мм
	Штукатурка известковая	1700	0,7	30
	Обмазка глиной	1700	0,8	10

Деревянный каркас с заполнением соломенными блоками	150	0,08	500
Обмазка глиной	1700	0,8	10
Обрешетка			44
Гипсокартон	800	0,20	25

Вышеприведенные данные ограждающих конструкций свидетельствуют о том, что высокой теплопроводностью обладают конструкции из кирпичной кладки и из пеноблока, средней теплопроводностью – клееный брус, более низкой – деревянный каркас, стальные тонкостенные конструкции и соломенные блоки. Это позволяет нам сделать практический вывод о том, что в холодной полосе России целесообразней использовать материал конструкций, обладающий наиболее высокой теплопроводностью, что мы наблюдаем на практике повсеместно. А в более южных широтах – более низкой теплопроводностью, поскольку нет необходимости утеплять стены зданий, находящиеся под постоянным прямым воздействием солнца.

Следующим этапом исследования является сравнительный анализ различных материалов ограждающих конструкций стен, которые применимы, в том числе и при строительстве высотных сооружений в северных широтах России. Рассмотрим преимущества и недостатки выбранных нами типов стеновых ограждающих конструкций, базируясь на нормативные документы, строительный и практический опыт.

В таблице 7 приведено сравнение ограждающих стен, выполненных из кирпича, пеноблока, бруса клееного, деревянного каркаса, ЛСТК с применением утеплителя (минеральной ваты), а также соломенных блоков.

Таблица 7 Сравнительный анализ стеновых ограждающих конструкций

	Кирпич	Пеноблок	Брус клееный	Деревянный каркас	ЛСТК	Соломенные блоки
Устойчивость к атмосферным воздействиям и температуре	Хорошая, значительное число циклов заморозки/разморозки.	Отличные теплоаккумулирующие свойства исключают резкие температурные колебания	Расслоение, растрескивание ламелей, изменение внешнего вида древесины под воздействием солнца и атмосферных осадков	Огромное количество циклов замораживания/разморозки	Устойчив к температурным перепадам, атмосферным воздействиям и УФ облучению	Подвержен воздействию влаги
Огнестойкость (III степени); Пожаробезопасность.	Соответствует. Не горит и держит высокую температуру	Соответствует. Не горит и не поддерживает горение.	Соответствует. При воспламенении клееный брус прогорает, но конструкция дома при этом не разрушается, сохраняет свои качества	Соответствует. После качественной пропитки, деревянные элементы очень устойчивы к возгоранию, даже при длительном воздействии открытым огнем	Соответствует. Металлические материалы и их покрытия, из которых изготовлены все комплектующие конструкции здания, огнеупорны	Соответствует. Оштукатуренные прессованные блоки обладают высокой огнестойкостью
Биологическая устойчивость	Не подвержен грибку, плесени, насекомым, грызунам	Не ржавеет, не гниет, не боится плесени, не подвержен воздействию грызунов и насекомых.	Подвержен воздействию грибков, а также гниению	Подвержен гниению и поражению грибками и плесенью	Не подвержены воздействию грибка, подвержены коррозии	Потенциальная возможность поселения грызунов

Шумоизоляция	Соответствует	Соответствует	Соответствует	Соответствует	Соответствует	Соответствует
Изменение геометрии, свойств несущего конструктива здания под воздействием внешних факторов и времени	Отсутствует	Отсутствует	Возможна усадка	Возможна усадка, изменение прямолинейности, сколы	Отсутствует	Отсутствует
Возможность строительства в районах с повышенной сейсмической опасностью	Возможно с применением ряда конструктивных мер влекущих увеличение стоимости	Возможно с применением ряда конструктивных мер влекущих увеличение стоимости	Возможно в районах с сейсмостойкостью до 9 баллов без существенных конструктивных мер и увеличений стоимости	Возможно в районах с сейсмостойкостью до 9 баллов без существенных конструктивных мер и увеличений стоимости	Возможно в районах с сейсмостойкостью до 9 баллов без существенных конструктивных мер и увеличений стоимости	Возможно в районах с сейсмостойкостью в пределах 9 баллов без существенных конструктивных мер и увеличений стоимости
Возможность строительства и нормальной эксплуатации в различных регионах	Любой регион	Любой регион	Любой регион	Любой регион	Любой регион	Любой регион
Красота и эстетика	Дом очень красиво и внушительно	Вид не эстетичен, требуется облицовка	Привлекательный внешний вид, через какое-то время посереет, возможно, местами треснет, в худшем случае – сгниет	Вид эстетичен	Вид эстетичен	Вид не эстетичен, требуется облицовка
Этажность	более 9 этажей	до 3 этажей	до 4 этажей	до 23 этажей	до 20 этажей	до 4 этажей
Влажность помещений	Комфортная	Комфортная	Нарушается естественная циркуляция влаги и воздухообмен, микроклимат внутри помещения	Комфортный	Комфортный	Комфортный

Экологичность	Все материалы экологически чистые	Все материалы экологически чистые	Все материалы экологически чистые. Исключение средства деревообработки (антисептики, антипирены), а также клей, который подлежит обязательной сертификации	Все материалы экологически чистые. Исключение средства деревообработки (антисептики, антипирены)	Все материалы экологически чистые	Все материалы экологически чистые. Исключение средства деревообработки (антисептики, антипирены)
Дополнительные работы перед внутренней чистовой отделкой после возведения коробки	Требуется оштукатуривание стен, грунтование	Требуется оштукатуривание стен, грунтование	Требуется обшивка ГКЛ+ГВЛ по дополнительному каркасу после усадки	Не требуется, ГКЛ идеально ровна поверхность под отделку	Не требуется, ГКЛ идеально ровна поверхность под отделку	Требуется оштукатуривание стен, грунтование
Фактическое сопротивление теплопередаче, м ² ·°С/Вт	3,17	4,18	3,68	5,46	5,46	6,6
Вес на квадратного метра стены, кг/м ²	416	329	316	88	85	75
Толщина конструкции, мм	475	425	412	284	284	619
Стоимость строительства под чистовую отделку, руб/кв.м	21700	19000	24200	15200	16500	15000
Срок службы	100150 лет	50 лет	5090 лет	не менее 50 лет	не менее 100 лет	более 100 лет
Прокладка инженерных сетей	Необходимо штробить – большая трудоемкость; открытая прокладка портит интерьер	Необходимо штробить – большая трудоемкость; открытая прокладка портит интерьер	Открытая прокладка портит интерьер	Требуется производство отверстий в каркасе, открытая прокладка портит интерьер	Не требует дополнительных работ (прокладка в полости стен, перекрытий через специальные коммуникационные отверстия)	Этот способ позволяет убрать все инженерные коммуникации в стены
Вероятность ошибки как следствие «человеческого фактора»	Большая вероятность. Требуется опыт ведения работ	Большая вероятность. Требуется опыт ведения работ	Маленькая вероятность, благодаря детальной проработке рабочей документации, но требуется опыт работы с пиломатериалами	Маленькая вероятность, благодаря детальной проработке рабочей документации, но требуется опыт работы с пиломатериалами	Практически исключена, благодаря детальной проработке проектной документации и точности изготовления деталей	Большая вероятность. Требуется опыт ведения работ

Влияние погодных условий	Последовательное выполнение многих работ влечет зависимость от погодных условий	Последовательное выполнение многих работ влечет зависимость от погодных условий	Высокая скорость возведения коробки под кровлю, с возможностью вести дальнейшие работы в любых погодных условиях	Высокая скорость возведения коробки под кровлю, с возможностью вести большинство дальнейших работ в любых погодных условиях	Высокая скорость возведения коробки под кровлю, с возможностью вести большинство дальнейших работ в любых погодных условиях	Высокая скорость возведения коробки под кровлю. Собирается только в сухую погоду
Транспортные расходы	Высокие затраты на транспорт, из-за значительной массы и объема материалов	Высокие затраты на транспорт, из-за значительной массы и объема материалов	Высокие транспортные затраты, из-за значительной массы и объема материалов	Невысокие затраты на транспорт, благодаря небольшой массе и объему материалов	Невысокие затраты на транспорт, благодаря небольшой массе и объему материалов	Высокие транспортные затраты, из-за значительного объема материалов
Доставка в труднодоступные районы	Затруднительно из-за значительной массы и объема материалов	Затруднительно из-за значительной массы и объема материалов	Затруднительно из-за значительной массы и объема материалов	Не вызывает сложности, благодаря небольшой массе и объему материалов	Не вызывает сложности, благодаря небольшой массе и объему материалов	Затруднительно из-за значительного объема материалов

Влияние жизненного цикла на характеристики здания/конструкции

Жизненный цикл зданий напрямую зависит от жизненного цикла применяемых при строительстве материалов. Строительство – одна из самых материалоемких отраслей народного хозяйства. Затраты на материалы, расходуемые непосредственно на возведение зданий и сооружений, составляют более половины общей стоимости строительно-монтажных работ и около 1/3 капитальных вложений в народное хозяйство Российской Федерации. Строительство потребляет более 30% всей продукции сферы материального производства. Строительные материалы и конструкции будущего здания определяются на стадии проектирования. При этом важным критерием отбора является их энергоэффективность, в том числе расходы энергоресурсов на их производство. Основными строительными материалами, из которых в основном строятся здания, являются бетон, кирпич (керамический и силикатный) и дерево.

Жизненный цикл здания связан не только с физическим износом, но и с моральным и так называемым внешним износом. Общепринято, что для оценки и представления этих видов износа используются субъективные методы оценки, которые одни специалисты называют квалиметрическими, а другие экспертными.

Оценка жизненного цикла и его стоимости является параметром, по которому отбирается наиболее эффективный материал и объект, удовлетворяющий основные требования устойчивого строительства. При оценке жизненного цикла необходимо учитывать образовавшиеся в ходе строительства, эксплуатации, реконструкции, ремонта и демонтажа отходы, которые следует отправлять на вторичное использование или переработку.

При оценке рассматриваются экономические, экологические, культурные и социальные факторы устойчивого строительства. Её целями могут являться альтернативное сопоставление вариантов для выбора, подходящего или улучшения единственного варианта процесса или объекта. Наиболее грамотная стратегия состоит в том, чтобы приумножить влившуюся в здание энергию (сделать конструкции прочнее, использовать дополнительную изоляцию, сложные ограждения), уменьшив затраты на дальнейшую эксплуатацию, обслуживание и реконструкцию объекта.

Каждый проектировщик обязан понимать, при каких условиях лучше использовать (не использовать) какойлибо материал (сталь, древесина, бетон), откуда и как лучше подвести инженерные коммуникации (централизованные сети, местные поставки или возобновляемые источники), утилизировать и перерабатывать жидкие и твердые бытовые отходы (централизованно или при помощи местных установок) и т.д.

Сложность оценки жизненного цикла объясняется довольно продолжительной эксплуатацией зданий и сооружений (более ста лет). Анализ жизненного цикла подразумевает прогнозную стоимость различных материалов и энергетических ресурсов спустя десятки и сотни лет после введения в эксплуатацию. Таким образом, такие стоимости могут не соответствовать настоящим, которые зависят от различных сценариев (путей) развития мира, страны и города. В особенности это имеет отношение к стоимости энергетических

ресурсов, так как их запасы ограничены. Данный анализ оправдывает только то, что он применяется для всех сопоставляемых вариантов материалов и зданий (сооружений) в целом.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных исследований в области оценки ограждающих конструкций показал, что существует большое количество различных типов зданий. По этой причине при выборе материалов для строительства необходимо помнить, какие преследуются цели при проектировании. Для устройства ограждающих конструкций самыми распространенными материалами являются кирпич, пеноблок, ЛСТК, брус клееный, деревянный каркас и соломенные блоки. У каждого из этих материалов есть своя специфика.

Определяющим фактором для использования любого конструктивного решения является техникоэкономические показатели изготовления конструкции. В условиях рыночной экономики инвесторы, вкладывающие деньги в строительство, очень внимательно относятся к проблеме оптимизации строительных конструкций. Снижение расходов на изготовление ограждающих конструкций, обеспечив требования прочности, устойчивости, огнестойкости, долговечности, экономичности, безопасности и соответствие конструкции теплотехническим нормам, является актуальной проблемой при их проектировании.

С каждым годом возрастает потребность в реконструкции и восстановлении жилищного фонда страны, поскольку к моральному износу зданий добавляется физический износ конструктивных элементов и инженерных систем, что ускоряет общий процесс старения [1]. Ведь реконструкция зданий является одним из важных направлений решения жилищной проблемы, поскольку позволяет не только продлить жизненный цикл, но и существенно улучшить качество, эксплуатационную надежность и долговечность жилища.

Критерием оценки технического состояния здания в целом, его конструктивных элементов и инженерного оборудования является физический износ, т. е. утрата первоначальных техникоэксплуатационных качеств в результате воздействия природноклиматических факторов и жизнедеятельности человека [5]. Износ здания с учетом выполнения мероприятий по ремонту, наладке и обслуживанию инженерных систем и конструкций называют нормальным физическим износом и в соответствии с ним назначают нормативный срок службы здания. Для зданий II группы капитальности усредненный нормативный срок службы составляет 125 лет [6].

Для оценки физического износа достаточно воспользоваться методом Росса. Для зданий, содержание которых ведется неудовлетворительно, эксплуатация проходит в режиме «саморазрушения», т. е. качество и периодичность профилактических ремонтов недостаточны. Процесс износа определяется при помощи линейной зависимости и рассчитывается по формуле:

$$\Phi = 100 \frac{t}{T}$$

где Φ – процент износ при неудовлетворительном содержании;

t – возраст здания;

T – нормативный срок эксплуатации здания.

Для зданий, содержание которых заслуживает средней оценки, т. е. соблюдаются сроки проведения текущих и капитальных ремонтов, процент износа (при удовлетворительном содержании) определяется по формуле:

$$\Phi = 100 \frac{t(t + T)}{2T^2}$$

Для зданий, содержание которых осуществляется правильно, т. е. возникающие в процессе эксплуатации проблемы устраняются сразу по мере их появления, процент износа (при правильном содержании) определяется выражением:

$$\Phi = 100 \frac{t^2}{T^2}$$

Этот метод доступен и прост, поскольку необходимо знать только расчетный срок службы и возраст здания. Предлагается его использование на стадии предпроектных исследований для приблизительной оценки, которая может определить принятие решения о постановке на реконструкцию, при которой уже возникнет необходимость проведения всего комплекса обследований, необходимых для выявления физического и морального износа.

3. Результаты и обсуждение

Воспользуемся формулой при правильном содержании здания и сведем все расчеты для удобства в таблицу.

Таблица 8 Показатели износа и сопротивления теплопередаче на протяжении цикла здания

	Наименование материала	Сопротивление теплопередаче R	Нормативный срок эксплуатации и материала T, лет	Физический износ ограждающих конструкций, %				
				Φ ₁	Φ ₂₅	Φ ₅₀	Φ ₇₅	Φ ₁₀₀
1	2	4	5	6	8	10	12	14
Кирпичная стена								
1	Внутренняя штукатурка	0,00538	60	0,028	17,361	69,444	156,25	277,778
2	Кирпичная кладка	0,3906	125	0,006	4,0	16,0	36,0	64,0
3	Утеплитель минеральная вата	2,5	40	0,063	39,063	156,25	351,563	625,0
4	Облицовка фасада кирпичом	0,1875	125	0,006	4,0	16,0	36,0	64,0
Стена из пеноблоков								
1	Внутренняя штукатурка	0,00538	60	0,028	17,361	69,444	156,25	277,778
2	Пеноблок	0,4651	100	0,01	6,25	25,0	56,25	100,0
3	Утеплитель минеральная вата	2,5	40	0,063	39,063	156,25	351,563	625,0
4	Облицовка фасада кирпичом	0,1875	125	0,006	4,0	16,0	36,0	64,0
Стена из клееного бруса								
1	Обшивка с внутренней стороны ГКЛ+ГВЛ	0,05434 0,04808	30 30	0,111	69,444	277,778	6525,0	1111,11
2	Каркас под обшивку							
3	Утеплитель минеральная вата с деревянным каркасом	2,5 0,159	40 50	0,063 0,040	39,063 25,0	156,25 100,0	351,563 225,0	625,0 400,0
4	Брус	0,833	150	0,004	2,778	11,111	25,0	44,444
5	Фиброцементные панели под кирпич	0,0375	50	0,040	25,0	100,00	225,0	400,0
Стена с деревянным каркасом								
1	Обшивка с внутренней стороны ГКЛ+ГВЛ	0,05434 0,04808	30 30	0,111	69,444	277,778	6525,0	1111,11
2	Утеплитель минеральная вата с деревянным каркасом	3,75 0,160	40 50	0,063 0,040	39,063 25,0	156,25 100,0	351,563 225,0	625,0 400,0
3	Обрешетка							
4	Фиброцементные панели под кирпич	0,0375	50	0,040	25,0	100,00	225,0	400,0
Стена из ЛСТК								
1	Обшивка с внутренней стороны ГКЛ+ГВЛ	0,05434 0,04808	30 30	0,111	69,444	277,778	6525,0	1111,11
2	Стальной каркас с заполнителем минеральной ватой	3,75 0,160	100 40	0,010 0,063	6,250 39,063	25,0 351,563	56,25 351,563	100,0 625,0
3	Обрешетка							
4	Фиброцементные панели под кирпич	0,0375	50	0,040	25,0	100,00	225,0	400,0
Стена из соломенных блоков								
1	Обшивка с внутренней стороны ГКЛ+ГВЛ	0,05434 0,04808	30 30	0,111	69,444	277,778	6525,0	1111,11
2	Штукатурка глиной	0,04286	40	0,063	39,063	156,25	351,563	625,0
3	Деревянный каркас с заполнением соломенными блоками	3,125 0,161	50 100	0,040 0,01	25,0 6,25	100,0 25,0	225,0 56,25	400,0 100,0

4	Штукатурка глиной	0,04286	40	0,063	39,063	156,25	351,563	625,0
5	Фиброцементные панели под кирпич	0,0375	50	0,040	25,0	100,00	225,0	400,0

Итак, из полученных расчетов мы видим, как меняется приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций на протяжении/ с течением времени. Представим это в табличной форме.

Таблица 9 Результаты расчетов в зависимости от нормативного срока эксплуатации материалов на протяжении жизненного цикла здания

№	Конструкция	R0	ΣR_1	ΣR_{25}	ΣR_{50}	ΣR_{75}	ΣR_{100}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Кирпичная кладка	3.242	3,216	2,083	0,487	0,370	0,208
2	Пеноблок	3.316	3,156	2,144	0,508	0,323	0,068
3	Клееный брус	3.791	3,630	2,512	0,740	0,625	0,463
4	Деревянный каркас	4.208	4,047	2,465	0	0	0
5	ЛСТК	4.208	4,049	3,673	2,813	1,641	0
6	Соломенные блоки	3.633	3,510	2,606	0,121	0,070	0

Можно сделать вывод, что если рассматривать изменения показателей отдельных материалов конструкции, то стена из ЛСТК и клееного бруса лучше сохраняют свои характеристики с течением времени.

Поскольку каждый материал имеет свой срок службы и зависит он от условий эксплуатации/ защиты от внешних воздействий, данные результатов на практике будут, конечно же, отличаться. Поэтому срок эксплуатации здания будет немного выше данных показателей.

Рассмотрим также ограждающую конструкцию в целом, приняв нормативный срок эксплуатации как среднее значение, исходя из практического опыта.

Таблица 10 Результаты расчетов в зависимости от нормативного срока эксплуатации конструкции в целом на протяжении жизненного цикла здания

№	Конструкция	T	R	Φ_1	Φ_{25}	Φ_{50}	Φ_{75}	Φ_{100}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Кирпичная кладка	125	3,242	0,004	2,778	11,111	25	44,444
2	Пеноблок	100	3,316	0,04	25	100	225	400
3	Клееный брус	150	3,791	0,01	6,25	25	56,25	100
4	Деревянный каркас	70	4,208	0,04	25	100	225	400
5	ЛСТК	150	4,208	0,004	2,778	11,111	25	44,444
6	Соломенные блоки	125	3,633	0,004	2,778	11,111	25	44,444

Таблица 11 Результаты расчетов в зависимости от нормативного срока эксплуатации конструкции в целом на протяжении жизненного цикла здания

№	Конструкция	T	R0	ΣR_1	ΣR_{25}	ΣR_{50}	ΣR_{75}	ΣR_{100}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Кирпичная кладка	125	3.242	3.2418	3.1123	2.7233	2.0749	1.1671
2	Пеноблок	100	3.316	3.3157	3.1088	2.487	1.451	0
3	Клееный брус	150	3.791	3.7908	3.6857	3.3698	2.8433	2.1061
4	Деревянный каркас	70	4.208	4.2071	3.6713	2.0611	0	0
5	ЛСТК	150	4.208	4.2078	4.0911	3.7404	3.156	2.3378
6	Соломенные блоки	125	3.633	3.6328	3.4877	3.0517	2.3251	1.3079

Исходя результатам данной таблицы, конструкция стены из ЛСТК лучше сохраняет свои показатели/характеристики с течением времени. В целом сравнительная оценка выявила технологии строительства, которые являются наиболее оптимальными, экологически выгодными. Лидерами стали такие технологии, как:

- ЛСТК – легкие стальные тонкостенные конструкции
- Каркасная деревянная стена
- Стена из пеноблока

Таким образом, анализ материалов ограждающих конструкций стен, показал, что стены из ЛСТК обладают меньшей толщиной и весом в отличие от других материалов ограждающих конструкций стен при одинаковом сопротивлении теплопередаче, следовательно, это позволяет снизить нагрузки на фундамент.

Для строительства подобной стены необходимо меньшее количество материала, что также способствует экономии материальных затрат.

Важно отметить, что отличительными особенностями технологии ЛСТК является легкость конструкций и высокая скорость монтажа, практически не зависящая от климатических условий. Кроме того, стоимость таких объектов ниже аналогичных с использованием других материалов на 2550% за счёт меньших трудозатрат, снижения сроков строительства, уменьшения затрат на нулевом цикле.

Данные исследования подтверждают тот факт, что использование технологии ЛСТК позволяет возводить не только малоэтажные, но и многоэтажные объекты.

Расчет ограждающих конструкций в программном комплексе ANSYS

В данном разделе решается уравнение теплопроводности с помощью пакета ANSYS Fluent, Также использовали структурированные сетки и программный комплекс ANSYS (пакет ICEM CFD).

Граничные условия:

1. Внутренняя стенка условие первого рода (постоянное значение температуры). Условие состоит в задании распределения плотности теплового потока на границах тела и её изменение во времени: $q_p = f(t)$
2. Внешняя стенка условие третьего рода (конвективная температура).

Задаются температура окружающей среды $t_{ж}$ и закон теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой. Это условие характеризует закон теплообмена между поверхностью и окружающей средой в процессе охлаждения или нагревания тела. Для описания процесса теплообмена между поверхностью тела, соответствующий конвективному теплообмену, и средой используется закон НьютонаРихмана: количество тепла, отдаваемое (воспринимаемое) единицей поверхности тепла, пропорционально разности температур поверхности тела и окружающей среды.

Для расчётов и сравнения результатов взяли две ограждающие конструкции: деревянный каркас и ЛСТК.

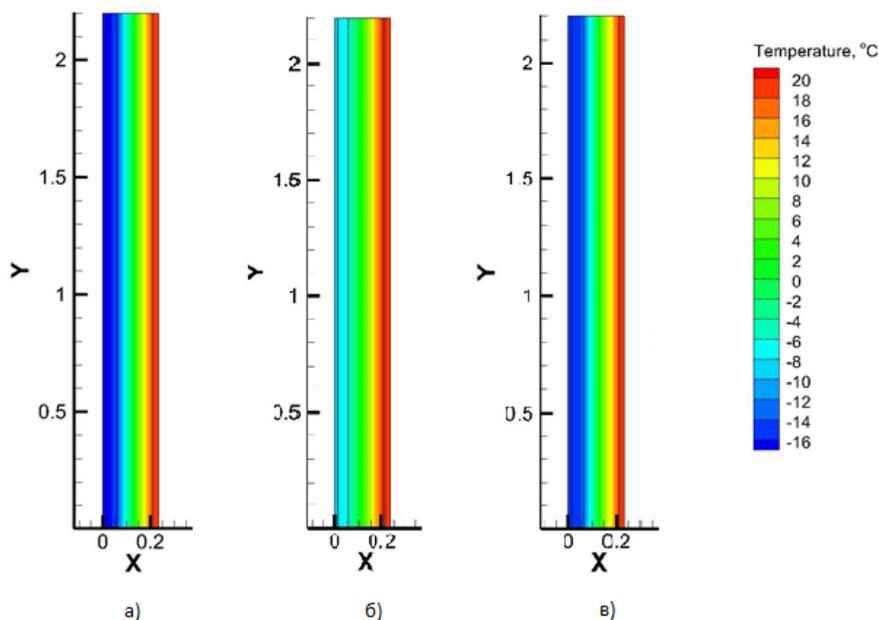


Рис. 1. Распределение температуры по толще стенки:

- а) с начальными показателями стены с деревянным каркасом и из ЛСТК; б) с показателями стены с деревянным каркасом через 75 лет; в) с показателями стены из ЛСТК через 75 лет.

Из рис. 1 видно, что у стены с деревянным каркасом через 75 лет теплотеря будет значительно больше, чем у стены из ЛСТК, поскольку на внешней стенке у стены с деревянным каркасом температура через 75 лет будет 8°C, а у стены из ЛСТК 12 °С, т.е. разница составила 4 °С.

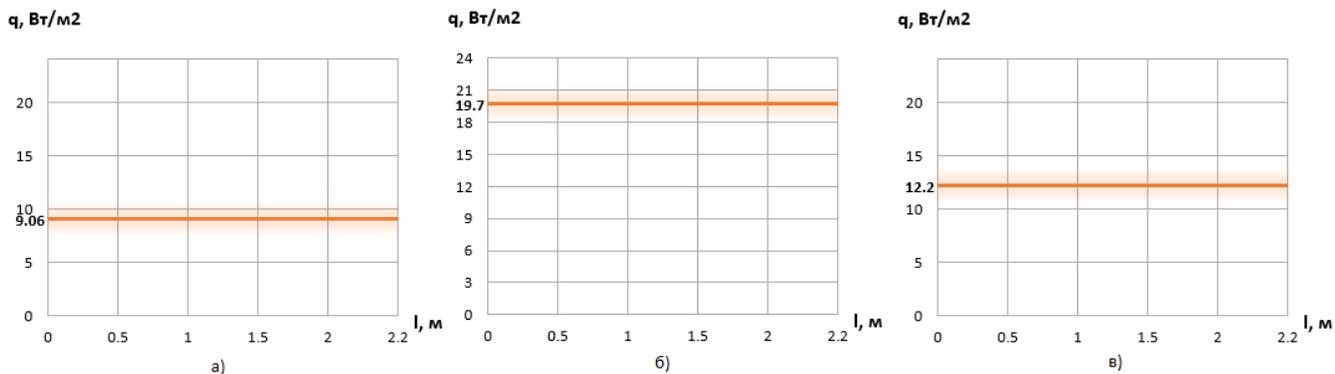


Рис. 2. Графики теплового потока по длине стенки:

- а) с начальными показателями стены с деревянным каркасом и из ЛСТК; б) с показателями стены с деревянным каркасом через 75 лет; в) с показателями стены из ЛСТК через 75 лет

Можно сделать вывод, что чем больше значение теплового потока, тем хуже характеристики ограждающей конструкции. Таким образом, стена из ЛСТК показывает себя с лучшей стороны, чем стена с деревянным каркасом на протяжении жизненного цикла здания, поскольку значение теплового потока стены с деревянным каркасом больше на 7,5 Вт/м², чем значение теплового потока стены из ЛСТК. материала, что также способствует экономии материальных затрат.

4. Заключение

1. В результате работы проведено сравнение ограждающих конструкций. Выявлено, как различные материалы влияют на теплоэффективность.
2. Проведенный анализ состояния теории и практики, решений ограждающих конструкций показал, что существует достаточное количество разнообразных ограждающих конструкций, которые постоянно совершенствуются.
3. Сравнительный анализ материалов ограждающих конструкций, показал, что стены из ЛСТК являются наиболее рациональными, технически и экономически выгодными технологиями строительства. Данная конструкция обладает меньшей толщиной и весом в отличие от других ограждающих конструкций, следовательно, это позволяет снизить нагрузки на фундамент и увеличить жилую площадь помещения. Для строительства подобной стены необходимо меньше трудозатрат, меньшее количество материала, что также способствует экономии затрат.
4. Исходя из теплотехнических расчетов ограждающих конструкций можно сказать, что у стен из ЛСТК и деревянного каркаса толщиной 235 мм приведенное сопротивление теплопередаче выше, чем у других конструкций, которые имеют большую толщину.
5. Расчет ограждающих конструкций в программном комплексе ANSYS показал, что у стены с деревянным каркасом через 75 лет теплотеперь будет значительно больше, чем у стены из ЛСТК. Также согласно графикам теплового потока: чем больше значение теплового потока, тем хуже характеристики ограждающей конструкции. Таким образом, стена из ЛСТК показывает себя с лучшей стороны, чем стена с деревянным каркасом на протяжении жизненного цикла здания.
6. Расчет расхода тепловой энергии показал, что экономически выгоднее использовать стены из ЛСТК, поскольку в здании построенном по этой технологии потери тепла будут меньше, следовательно, стоимость тепловой энергии обойдется ниже.
7. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что каждый из видов ограждающей конструкции, несмотря на свои достоинства и недостатки имеет место быть и активно применяется в строительстве.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных исследований в области оценки ограждающих конструкций показал, что существует большое количество различных типов зданий. По этой причине при выборе материалов для строительства необходимо помнить, какие преследуются цели при проектировании. Для устройства ограждающих конструкций самыми распространенными материалами являются кирпич, пеноблок, ЛСТК, брус клееный, деревянный каркас и соломенные блоки. У каждого из этих материалов есть своя специфика.

Определяющим фактором для использования любого конструктивного решения является техникоэкономические показатели изготовления конструкции. В условиях рыночной экономики инвесторы, вкладывающие деньги в строительство, очень внимательно относятся к проблеме оптимизации строительных конструкций. Снижение расходов на изготовление ограждающих конструкций, обеспечив требования прочности, устойчивости, огнестойкости, долговечности, экономичности, безопасности и соответствие конструкции теплотехническим нормам, является актуальной проблемой при их проектировании.

Результат проведенного анализа показал, что ограждающая конструкция стен из ЛСТК с утеплителем, обладающая легкостью, большей компактностью, показывает лучшие теплозащитные свойства, чем другие ограждающие конструкции. То есть площадь стен здания увеличивается, а затраты на обогрев помещений снижаются. Кроме того, возведение стен из ЛСТК требует значительно меньших трудозатрат и не привязано к погодным условиям, имеет высокую скорость монтажа, небольшой срок строительства. Также использование технологии ЛСТК позволяет возводить не только малоэтажные, но и многоэтажные объекты.

Литература

- [1]. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261 ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
- [2]. Зорин Р.Н., Матяшова Л.Ю. Методы прогнозирования долговечности ограждающих конструкций // Инженерные системы и сооружения. 2017. № 2 (27). С. 4750.
- [3]. Субботина С.А., Шлыкова И.Д., Авдеева А.А. Требования к энергоэффективности зданий в различных странах // Синергия наук. 2018. № 26. С. 374378.
- [4]. Чижов Э.К., Сузанская А.А. Способы повышения класса энергоэффективности при реконструкции зданий // Синергия наук. 2017. № 12. С. 918930.
- [5]. Мотовилова И.С., Остяркова Ю.Е. Выбор строительного материала для ограждающих конструкций малоэтажных зданий // Теория и практика технических, организационнотехнологических и экономических решений. 2017. С. 6877.
- [6]. Манжиков Ч.В. Повышение энергоэффективности наружных стен с кирпичным облицовочным слоем // Технические науки: проблемы и решения. Сборник статей по материалам XII международной научнопрактической конференции. 2018. Том № 6 (11). С. 96101.
- [7]. Гринфельд Г.И., Коркина Е.В., Пастушков П.П., Павленко Н.В., Ерофеева И.В. Система ограждающих конструкций, обеспечивающая повышенное энергосбережение в зданиях // Научный вестник ВГАСУ. 2016. № 3(43). С. 2535.
- [8]. Мошкова Е.А., Туева Т.В., Антончик Т.В., Егорова П.А. Сравнение теплотехнических характеристик различных ограждающих конструкций в натуральных условиях // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2015. № 91. С. 140145.
- [9]. Кузин А.Я., Хуторной А.Н., Хон С.В. Теплоперенос в неоднородной брусчатой наружной стене с фасадным утеплением // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. № 1112 (563564). С. 410.
- [10]. Федюк Р.С. Монолитные железобетонные ограждающие конструкции с применением несъемной опалубки из пенополистирола // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10 (81). С. 185190.
- [11]. Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3 (30). С. 737.
- [12]. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 816.
- [13]. Васильев Г.П., Колесова М.В. Экономически и экологически целесообразный уровень теплозащиты зданий // Вестник МГСУ. 2011. № 8. С. 293302.

References

- [1]. Federalnyy zakon ot 23.11.2009 № 261 FZ "Ob energosberezenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otdelnyye zakonodatelnyye akty Rossiyskoy Federatsii". (rus)
- [2]. Zorin R.N., Matyashova L.Yu. Metody prognozirovaniya dolgovechnosti ograzhdayushchikh konstruksiy. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. 2017. № 2 (27). S. 4750. (rus)
- [3]. Subbotina S.A., Shlykova I.D., Avdeyeva A.A. Trebovaniya k energoeffektivnosti zdaniy v razlichnykh stranakh. Sinergiya nauk. 2018. № 26. S. 374378. (rus)
- [4]. Chizhov E.K., Suzanskaya A.A. Sposoby povysheniya klassa energoeffektivnosti pri rekonstruktsii zdaniy. Sinergiya nauk. 2017. № 12. S. 918930. (rus)
- [5]. Motovilova I.S., Ostyarkova Yu.Ye. Vybtor stroitel'nogo materiala dlya ograzhdayushchikh konstruksiy maloetazhnykh zdaniy. Teoriya i praktika tekhnicheskikh, organizatsionnotekhnologicheskikh i ekonomicheskikh resheniy. 2017. S. 6877. (rus)
- [6]. Manzhikov Ch.V. Povysheniye energoeffektivnosti naruzhnykh sten s kirpichnym oblistsovochnym sloym. Tekhnicheskiye nauki: problemy i resheniya. Sbornik statey po materialam XII mezhdunarodnoy nauchnoprakticheskoy konferentsii. 2018. Tom № 6 (11). S. 96101. (rus)
- [7]. Grinfeld G.I., Korkina Ye.V., Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Yerofeyeva I.V. Sistema ograzhdayushchikh konstruksiy, obespechivayushchaya povyshennoye energosberezeniyе v zdaniyakh. Nauchnyy vestnik VGASU. 2016. № 3(43). S. 2535.
- [8]. Moshkova Ye.A., Tuyeva T.V., Antonchik T.V., Yegorova P.A. Sravneniye teplotekhnicheskikh kharakteristik razlichnykh ograzhdayushchikh konstruksiy v naturnykh usloviyakh. Fundamentalnyye i prikladnyye issledovaniya v sovremennom mire. 2015. № 91. S. 140145. (rus)
- [9]. Kuzin A.Ya., Khutornoy A.N., Khon S.V. Teploperenos v neodnorodnoy bruschatoy naruzhnoy stene s fasadnym utepleniym. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2005. № 1112 (563564). S. 410. (rus)
- [10]. Fedyuk R.S. Monolitnyye zhelezobetonnyye ograzhdayushchiye konstruksii s primeneniyem nesymnoy opalubki iz penopolistirola. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. № 10 (81). S. 185190. (rus)
- [11]. Gorshkov A.S., Livchak V.I. History, evolution and development of regulatory requirements for enclosing structures. Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. № 3 (30). S. 737. (rus)
- [12]. Gagarin V.G. Makroekonomicheskiye aspekty obosnovaniya energosberegayushchikh meropriyatiy pri povyshenii teplozashchity ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy // Stroitelnyye materialy. 2010. № 3. S. 816. (rus)
- [13]. Vasilyev G.P., Kolesova M.V. Ekonomicheski i ekologicheski tselesoobraznyy uroven teplozashchity zdaniy // Vestnik MGSU. 2011. № 8. S. 293302. (rus)
- [14]. Tabunshchikov Yu.A. V poiskakh istiny // AVOK. 2014. № 6. S. 49. (rus)
- [15]. Naydenko A.V. Kharakteristika ograzhdayushchikh konstruksiy na primere navesnykh ventiliruyemykh fasadov. Alleya nauk. 2018. № 1 (17). S. 444448. (rus)

- [14]. Табунщиков Ю.А. В поисках истины //АВОК. 2014. № 6. С. 49.
- [15]. Найденко А.В. Характеристика ограждающих конструкций на примере навесных вентилируемых фасадов // Аллея наук. 2018. № 1 (17). С. 444448.
- [16]. Червова Н.А., Кукушкина Г.А. Внешние ограждающие конструкции высотных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9 (24). С. 137145.
- [17]. Петрянина Л.Н. Особенности применения конструкций наружных стен в различных климатических условиях // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2018. № 2 (15). С. 222228.
- [18]. Фисун В.А. Ограждающие конструкции зданий из сэндвичпанелей // Наука и техника транспорта. 2018. № 1. С. 5863.
- [19]. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23022003. М.: Министерство регионального развития, 2012. 96 с.
- [20]. Сотников А.А., Гойкалов А.Н. Современные решения тепловой защиты // Научный вестник ВГАСУ. 2015. № 1. С. 192196.
- [21]. Шойхет Б.М. Некоторые аспекты энергоэффективности навесных вентилируемых фасадов // Энергосбережение. 2011. № 7. С. 6068.
- [22]. Енюшин В.Н., Нурмухаметова А.Д., Хаеретдинова А.Д. Энергоэффективность современных ограждающих конструкций // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 217221.
- [23]. Езерский В.А., Монастырев П.В., Клычников Р.Ю. Оптимизация термомодернизации крупнопанельного жилого здания с учетом сроков службы теплозащитных мероприятий // Строительные материалы. 2013. № 7. С. 2527.
- [24]. Овчинников К.С. Энергоэффективность теплозащиты жилых зданий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2018. Том № 1. С. 437443.
- [25]. Цзин Л. Эффективные энергосберегающие ограждающие конструкции зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 6669.
- [26]. Иванов В.В., Сахно И.И., Карасёва Л.В. Нестационарные температурные режимы многослойных ограждающих конструкций в летнее время // Изв. вузов. Строительство. 2004. № 3. С. 913.
- [27]. Иванов В.В., Карасёва Л.В., Тихомиров С.А. Нестационарный теплоперенос в многослойных строительных конструкциях // Изв. вузов. Строительство. 2001. № 910. С. 710.
- [28]. Иванов В.В., Бутенко А.Н., Карасёва Л.В. Тепловые режимы неоднородных ограждающих конструкций / В.В. Иванов, А.Н. Бутенко, Л.В. Карасёва // Изв. вузов. Строительство. 2007. № 4. С. 2427.
- [29]. Морозов М.И., Руденко Н.Н. Методика расчета теплоизоляции раздачи ограждающих конструкций из экономических соображений // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). С. 90.
- [30]. Экспрессинформация, ВНИИС, выпуск 12 / Зарубеж.опыт /ВНИИИТПИ. М, 1988. С. 2832.
- [31]. Anderlind G., Johansson B. Dynamic insulation. A theoretical analysis of thermal insulation, through which a gas or fluid flows. Stockholm, 1983. 69 p.
- [32]. Revue techniques du batiment et des construction industrielle. 1988. № 127. P. 5158.
- [33]. Hebgen H. Energieeinsparung und baulicher Wärmeschutz. Deutsche Bauzeitschrift. 1979. № 12. S. 19011905.
- [34]. Pelke R. Energieeinsparung in der Klimatechnik. 1976. № 6. S. 156158.
- [35]. RMD 23162012 SanktPeterburg. Rekomendatsii po obespecheniyu energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy. (rus)
- [36]. Prikaz Minenergo Rossii ot 30.06.2014 № 400 (red. ot 13.01.2016) "Ob utverzhdenii trebovaniy k provedeniyu
- [16]. Chervova N.A., Kukushkina G.A. Vneshniye ograzhdayushchiye konstruksii vysotnykh zdaniy. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. № 9 (24). S. 137145. (rus)
- [17]. Petryanina L.N. Osobennosti primeneniya konstruksiy naruzhnykh sten v razlichnykh klimaticheskikh usloviyakh. Obrazovaniye i nauka v sovremennom mire. Innovatsii. 2018. № 2 (15). S. 222228. (rus)
- [18]. Fisun V.A. Ograzhdayushchiye konstruksii zdaniy iz sendvichpaneley. Nauka i tekhnika transporta. 2018. № 1. 5863. (rus)
- [19]. SP 50.13330.2012 Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23022003. M.: Ministerstvo regionalnogo razvitiya, 2012. 96 s. (rus)
- [20]. Sotnikov A.A., Goykalov A.N. Sovremennyye resheniya teplovo y zashchity. Nauchnyy vestnik VGASU. 2015. № 1. S. 192196. (rus)
- [21]. Shoykhet B.M. Nekotoryye aspekty energoeffektivnosti navesnykh ventiliruyemykh fasadov. Energoberezheniye. 2011. № 7. S. 6068. (rus)
- [22]. Yenyushin V.N., Nurmukhmayetova A.D., Khayeretdinova A.D. Energoeffektivnost sovremennykh ograzhdayushchikh konstruksiy. Izvestiya KGASU. 2016. № 4 (38). S. 217221. (rus)
- [23]. Yezerkiy V.A., Monastyrev P.V., Klychnikov R.Yu. Optimizatsiya termomodernizatsii krupnopanelnogo zhilogo zdaniya s uchetom srokov sluzhby teplozashchitnykh meropriyatiy. Stroitelnyye materialy. 2013. № 7. 2527. (rus)
- [24]. Ovchinnikov K.S. Energoeffektivnost teplozashchity zhilykh zdaniy. Sovremennyye tekhnologii v stroitelstve. Teoriya i praktika. 2018. Tom № 1. S. 437443. (rus)
- [25]. Tszin L. Effektivnyye energosberegayushchiye ograzhdayushchiye konstruksii zdaniy. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2017. № 2. S. 6669. (rus)
- [26]. Ivanov V.V., Sakhno I.I., Karaseva L.V. Nestatsionarnyye temperaturnyye rezhimy mnogoslonykh ograzhdayushchikh konstruksiy v letneye vremya. Izv. vuzov. Stroitelstvo. 2004. № 3. S. 913. (rus)
- [27]. Ivanov V.V., Karaseva L.V., Tikhomirov S.A. Nestatsionarnyy teploperenos v mnogoslonykh stroitelnykh konstruksiyakh. Izv. vuzov. Stroitelstvo. 2001. № 910. S. 710. (rus)
- [28]. Ivanov V.V., Butenko A.N., Karaseva L.V. Teplovyye rezhimy neodnorodnykh ograzhdayushchikh konstruksiy / V.V. Ivanov, A.N. Butenko, L.V. Karaseva. Izv. vuzov. Stroitelstvo. 2007. № 4. S. 2427. (rus)
- [29]. Morozov M.I., Rudenko N.N. Metodika rascheta teploizolyatsii razdachi ograzhdayushchikh konstruksiy iz ekonomicheskikh soobrazheniy. Inzhenernyy vestnik Dona. 2017. № 3 (46). S. 90. (rus)
- [30]. Ekspressinformatsiya, VNIIS, vypusk 12 / Zarubezh.opyt /VNIINTPI. M, 1988. S. 2832. (rus)
- [31]. Anderlind G., Johansson B. Dynamic insulation. A theoretical analysis of thermal insulation, through which a gas or fluid flows. Stockholm, 1983. 69 p.
- [32]. Revue techniques du batiment et des construction industrielle. 1988. № 127. R. 5158.
- [33]. Hebgen H. Energieeinsparung und baulicher Wärmeschutz. Deutsche Bauzeitschrift. 1979. № 12. S. 19011905.
- [34]. Pelke R. Energieeinsparung in der Klimatechnik. 1976. № 6. S. 156158.
- [35]. RMD 23162012 SanktPeterburg. Rekomendatsii po obespecheniyu energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy. (rus)
- [36]. Prikaz Minenergo Rossii ot 30.06.2014 № 400 (red. ot 13.01.2016) "Ob utverzhdenii trebovaniy k provedeniyu

- [33]. Hebgen H. Energieinsparung und baulicher Wärmeschutz // Deutsche Bauzeitschrift. 1979. № 12. S. 19011905.
- [34]. Pelke R. Energieeinsparung in der Klimatechnik. 1976. № 6. S. 156158.
- [35]. РМД 23162012 СанктПетербург. Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий.
- [36]. Приказ Минэнерго России от 30.06.2014 № 400 (ред. от 13.01.2016) "Об утверждении требований к проведению энергетического обследования и его результатам и правил направления копий энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования".
- [37]. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384 ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".
- [38]. Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л., Капко Д.В. Добровольная маркировка энергоэффективности общественных зданий // Энергосбережение. 2015. №6. С. 3037.
- [39]. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОКПРЕСС, 2002. 194 с.
- [40]. Табунщиков Ю.А. О противоречивости требований к теплозащите зданий в летних и зимних условиях // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2013. №3. С. 4855.
- [41]. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В. Экономим или нет? Российские энергосберегающие требования // Энергосбережение. 2014. № 2. С. 2732.
- [42]. Кузьменко Д.В., Ватин Н.И. Новый тип ограждающей конструкции термоманель. Стройпрофиль. 2008. № 6 (68). С. 56.
- [43]. Петриченко М.Р., Петроченко М.В. Гидравлика свободноконвективных течений в ограждающих конструкциях с воздушным зазором. Инженерностроительный журнал. 2011. №8(26). С. 5156.
- [44]. Catto Lucchino, E., Goia, F., Lobaccaro, G., Chaudhary, G. Modelling of double skin facades in wholebuilding energy simulation tools: A review of current practices and possibilities for future developments // Building Simulation. 2019. №12 (1). Pp. 327.
- [45]. Курицын А.О., Павлова Н.Ю., Опанасенко И.А., Болотовский В.В., Тарасова Д.С., Двойные фасады с вентилируемыми буферными зонами // Alfabuild. 2018. №6(7). С. 4758.
- [46]. Zhang, T., Yang, H. Flow and heat transfer characteristics of natural convection in vertical air channels of doubleskin solar façades // Applied Energy. 2019. Vol. 242. Pp. 107120.
- energeticheskogo obsledovaniya i yego rezultatam i pravil napravleniya kopiy energeticheskogo pasporta, sostavlenogo po rezultatam obyazatel'nogo energeticheskogo obsledovaniya". (rus)
- [37]. Federalnyy zakon ot 30.12.2009 № 384 FZ "Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy". (rus)
- [38]. Tabunshchikov Yu.A., Naumov A.L., Kapko D.V. Dobrovol'naya markirovka energoeffektivnosti obshchestvennykh zdaniy. Energoberezheniye. 2015. №6. S. 3037. (rus)
- [39]. Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M. Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy. M.: AVOKPRESS, 2002. 194 s. (rus)
- [40]. Tabunshchikov Yu.A. O protivorechivosti trebovaniy k teplozashchite zdaniy v letnikh i zimnikh usloviyakh. Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika. 2013. №3. S. 4855. (rus)
- [41]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Nemova D.V. Ekonomim ili net? Rossiyskiye energoberegayushchiye trebovaniya//Energoberezheniye. 2014. № 2. S. 2732. (rus)
- [42]. Kuzmenko D.V., Vatin N.I. Novyy tip ograzhdayushchiy konstruksii termopanel. Stroyprofil. 2008. № 6 (68). S. 56. (rus)
- [43]. Petrichenko M.R., Petrochenko M.V. Gidravlika svobodnokonvektivnykh techeniy v ograzhdayushchikh konstruksiyakh s vozdushnym zazorom. Inzhenernostroitelnyy zhurnal. 2011. №8(26). S. 5156. (rus)
- [44]. Catto Lucchino, E., Goia, F., Lobaccaro, G., Chaudhary, G. Modelling of double skin facades in wholebuilding energy simulation tools: A review of current practices and possibilities for future developments. Building Simulation. 2019. №12 (1). Pp. 327.
- [45]. Kuritsyn A.O., Pavlova N.Yu., Opanasenko I.A., Bolotovskiy V.V., Tarasova D.S., Double skin façade with ventilated buffer zone. Alfabuild. 2018. №6(7). S. 4758.
- [46]. Zhang, T., Yang, H. Flow and heat transfer characteristics of natural convection in vertical air channels of doubleskin solar façades. Applied Energy. 2019. Vol. 242. Pp. 107120.

Контактная информация

- 1.* +79218900267, nemova_dv@spbstu.ru (Немова Дарья, канд. техн. наук, доцент)
2. 89174013028, gareeva245@gmail.com (Гареева Алия, студент)
3. +7(999)2474478, katty_angy@mail.ru (Осетрова Екатерина, студент)

Contact information

- 1.* +79218900267, nemova_dv@spbstu.ru (Nemova Darya, Cand. Techn. Sciences, associate Professor)
2. 89174013028, gareeva245@gmail.com (Gareeva Aliya, student)
3. +7(999)2474478, katty_angy@mail.ru (Osetrova Ekaterina, student)

© Немова Д.В., Гареева Л.Г., Осетрова А.А. 2019