

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт

институт

Проектирование зданий и экспертиза недвижимости

кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

Р.А. Назиров

подпись

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Влияние условий эксплуатации и конструктивного исполнения наружных  
стен из ячеистого бетона на энергопотребление зданий»

08.04.01 «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

профессор, д.тн Р.А. Назиров

должность, ученая степень    инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

В.А. Шакирова

инициалы, фамилия

Рецензент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

к.т.н.

А.Ф. Рожков

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт

институт

Проектирование зданий и экспертиза недвижимости

кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

Р.А. Назиров

подпись

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ  
НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ**

Студенту Шакировой Веронике Александровне

фамилия, имя, отчество

Группа СФ20-04М Направление (специальность) 08.04.01 Строительство

номер

код

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование

Тема магистерской диссертации: «Влияние условий эксплуатации и конструктивного исполнения наружных стен из ячеистого бетона на энергопотребление зданий»

Утверждена приказом по университету № 4149/с от 25.03.2021

Руководитель магистерской диссертации Р.А. Назиров, заведующий кафедры ПзиЭН, д.т.н., профессор

инициалы, фамилия, должность, ученое звание

Исходные данные для магистерской диссертации: нормативно-правовые документы по вопросам энергосбережения и энергоэффективности зданий на территории РФ, учебники, справочники, методические пособия, диссертации, научные статьи, доклады и отчеты, материалы конференций и семинаров, справочные данные сети интернет, материалы научно-исследовательской практики.

Перечень разделов магистерской диссертации:

- Введение;
- ГЛАВА 1. Состояние вопроса и выбор основного направления исследования;
- ГЛАВА 2. Методика расчета;
- ГЛАВА 3. Результаты исследования и оценка полученных данных;
- Заключение;
- Список использованных источников;
- Перечень графических материалов презентация.

Руководитель

Р.А. Назиров

подпись

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

В.А. Шакирова

подпись

инициалы, фамилия студента

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. Состояние вопроса и выбор основного направления исследования	8
1.1. Этапы развития и изучение истории ячеистого бетона .....	8
1.2. Виды, свойства и характеристики ячеистого бетона.....	11
1.3. Требования к материалам, применяемым для приготовления ячеистых бетонов .....	14
1.4. Преимущества и недостатки ячеистого бетона. Методы защиты.....	16
1.5. Анализ рынка на потребление ячеистого бетона.....	22
1.6. Вывод по первой главе .....	24
ГЛАВА 2. Методика расчета .....	25
2.1. Постановка задачи. Основные понятия теплопередачи и тепло-массообмена.....	25
2.1.1. Расчет ограждающих конструкций по СП 50.13330.2012 .....	26
2.1.2. Численный метод .....	31
2.2. Условия однозначности для процессов теплопроводности.....	32
2.3. Выводы по второй главе .....	33
ГЛАВА 3. Результаты исследования и оценка полученных данных.....	34
3.1. Объекты исследования .....	34
3.2. Исходные данные .....	36
3.3. Результаты исследования .....	40

3.3.1 Градиенты температур.....	40
3.3.2. Результаты нестационарного расчета за 12 месяцев .....	41
3.3.3. Изменение влажности за 12 месяцев конструкции вариант 1 (600мм) .	46
3.3.4. Изменение влажности за 12 месяцев конструкции вариант 2 (400мм) .	47
3.3.5. Результаты нестационарного расчета за 10 лет .....	51
3.3.6. Результаты расчета по своду правил.....	53
3.4. Сравнение результатов .....	59
3.5. Расчёт затрат на отопление за расчетный период .....	61
Заключение .....	64
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>65</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Повышение энергоэффективности процессов связанных с жизнедеятельностью является важной технической задачей и закреплена в Федеральном законе № 261 "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009.

Ячеистый бетон является востребованным и популярным материалом в строительстве. Он применяется как конструкционный, для возведения несущих стен здания, так и как теплоизоляционный материал.

За счет своей пористой структуры, ячеистый бетон имеет низкую теплопроводность. Однако, пористая структура имеет отрицательную сторону, которой является накопление влаги в материале, приводящее к дополнительным теплотерям, снижению долговечности конструкции и способствует развитию грибков.

### Актуальность исследования.

Долговечность определяется совокупностью физических, механических и химических свойств материала, и оценивать ее необходимо по конкретным условиям эксплуатации. Долговечность зависит от структуры, качества и состава материала, следовательно, от совокупных свойств материала, но с другой стороны она зависит от интенсивности внешних воздействий – нагрузок, температурно-влажностного режима и конструктивного решения наружных стен.

Сейчас действует СП 50.133330.2012 «Тепловая защита зданий», СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», СП 131.133330.2018 «Строительная климатология». С учетом данных законодательств – ячеистый бетон становится одним из энергоэффективных материалов, который целесообразно применять в качестве стеновых

конструкций. Но нормативная методика не может дать точную оценку по влагонакоплению конструкции, так как не рассчитывается в динамике изменения свойств материала и климатических условий, в отличие от численного расчета в программном комплексе.

Тепловизионным и расчетным методом выявлены точки пониженных температур и повышенной влажности в углу конструкции. Из этого следует, что рациональный выбор конструктивного решения здания из ячеистого бетона напрямую связан с накоплением влаги в конструкции и ухудшением теплозащитных свойств, соответственно, исследование процессов тепло-массопереноса в ограждающих конструкциях на основе ячеистого бетона является актуальной задачей.

#### Цель диссертационного исследования.

Выявление особенностей влагонакопления в стеновых конструкциях из ячеистого бетона в нестационарных климатических условиях эксплуатации.

#### Задачи.

- Проанализировать результаты теоретических и практических исследований, нормативной базы по учету влагонакопления в конструкциях из ячеистого бетона;
- провести численное моделирование переноса тепла и влаги в стеновых ограждениях эксплуатируемых зданий;
- сравнить результаты численного моделирования и тепловизионных исследований с нормативной методикой;
- определить зоны максимального увлажнения, периоды влагонакопления и сушки конструкций из ячеистого бетона на основе численного моделирования в нестационарных условиях эксплуатации;

- определить необходимость корректировки / уточнения нормативной методики;
- показать влияние учета влагонакопления в конструкциях ячеистого бетона на его теплотехнические параметры, энергоэффективность и долговечность.

#### Научная новизна.

Исследовано угловое сопряжение наружных стен из ячеистого бетона с междуэтажным перекрытием, в нестационарных температурно-влажностных климатических условиях. Полученные расчёты исследуемых конструкций показывают как может изменяться влагонакопление в конструкции из ячеистого бетона в зависимости от конструктивного исполнения и времени года.

Объектом исследования является угловое соединение несущих стен с междуэтажным перекрытием.

#### Предмет исследования.

Изменение влагонакопления в материалах конструкции в зависимости от конструктивного исполнения.

#### Практическая значимость исследования.

Определена потребность внедрения в практику проектирования численных расчетов нестационарным методом, как наиболее объективного способа теплотехнического расчета.

#### Методы диссертационного исследования.

Включают в себя натурные тепловизионные обследования и расчетно-теоретические исследования процессов тепло- массопереноса.



Тепловизионные обследования проведены тепловизором (ThermaCAM SC640).

#### Апробация работы.

Основные положения магистерской диссертации докладывались на международных конференциях, в том числе:

- Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы свободной – 2021»;
- Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы свободной – 2022» (Диплом III степени).

#### Публикации.

Основные положения магистерской диссертации изложены в 2 печатных работах в рецензированном журнале из перечня ВАК:

- Шакирова В.А. — Исследования структуры и свойств автоклавного газобетона // Архитектура и дизайн. – 2020. – № 1. – С. 23 – 32.;
- Шакирова В.А. — Влагонакопление стеновой конструкции из ячеистого бетона в годовом цикле // Урбанистика. - 2021. - № 4. - С. 55 – 67.

# ГЛАВА 1. Состояние вопроса и выбор основного направления исследования

## 1.1. Этапы развития и изучение истории ячеистого бетона

На самом начальном этапе развития – состав раствора на основе извести и минеральных вяжущих, начало свое первое применение в Египте при применении кладочных и штукатурных растворов, например при строительстве пирамиды Хеопса и большого сфинкса 5 тысяч лет тому назад. Более широкое применение пошло в Греции для штукатурных и облицовочных работ. Данный состав раствора для кладки и отделки имел достаточно прочные характеристики и хорошо проявился своей долговечностью.

Ретроспективное изучение истории газобетона, производство которого происходило на основе естественные реакции порообразования и твердения материала, дает основание выявить несколько исторических этапов (рис. 1), характеризующих содержательное развитие этого строительного материала[1].



Рисунок 1 - Историческое развитие газобетона, периодизация: схема

## Этап 1. Монолитное использование

До формирования блоков - известковый раствор применялся в виде монолитного метода, как при строительстве Дмитриевского собора в 1195 г. XII в. в г. Владимире и даже спустя 750 лет, раствор имеет достаточно высокую прочность – 8МПа [2].

## Этап 2. Сборный строительный материал. Изобретение автоклавного газобетона

Так как данный раствор положительно отразился на применении в строительстве, то подобный состав с применением различных добавок - начали применять для создания сборного строительного материала, и как фактор – создание нового, легкого и долговечного строительного материала в виде ячеистых блоков.

В начале XIX века начались первые попытки изготавливать газосиликатные блоки (пенобетон), добавляя бычью кровь, белки животных из костей и рогов или мыльный корень. В результате полученной химической реакции – образовывалась пена и воздушные пузырьки при реакции белка крови и сапонина с ингредиентами раствора, но такой экзотический способ был без особого успеха, так как приводило к случайным изменениям качества сырья и к сильному запаху [4]. Со временем, от популяризации портландцемента – цемент, как вяжущее, постепенно сместило известь и это способствовало большому развитию для легкогобетонного строительства [3].

Первый, кто получил данный материал при смешивании гипсовых и цементных растворов с применением хлористых и углекислых солей, был ученый Гофман [5] из Чехии в 1889 году но развитие данного материала продолжили другие ученые. В то же время, в 1880 году была изобретена технология воздействия на известково-кремнеземнистых компонентах в

автоклавному аппарате немецким ученым В. Михаэлисом путем подвергания высокой температурой и под давлением водным паром.

Продолжили получение автоклавного газобетона американцы Аулсворт и Дайер в 1914 году. В роли газообразователя они применили порошки цинка и алюминия, взаимодействованные с гашеной известью. При таком смешивании, выделялся водород, образующий пористую структуру [6].

Шведский архитектор Аксель Эрикссон из города Иксхульт с 1917 по 1921 года продолжил разработку данного материала и предложил вспучивать раствор с помощью алюминиевого порошка. Благодаря этому методу в 1929 году запустилось производство газосиликата фирмой «Итонг» и за основу была взята технология В. Михаэлисона. Данная разработка была заключительной и утвержденной, поэтому в данный промежуток истории (начало XX века) - официально был создан газобетон с нормированным составом.

Первое свидетельство подобного метода строительства из блоков было замечено в начале XXв. Один из первых домов, построенный из газобетона в 1939 году в Риге стоит по сей день без отделки и утепления, но стоит помнить, что для каждого региона свой климат и не везде можно сохранить долговечность и тепло здания из ячеистых блоков без отделки и утепления.

### Этап 3. Развитие качества и свойств строительного материала

Качество данного материала характеризуется через его состав и использование правильной формы с целью увеличения тепла и экологичности, так как данные критерии влияют на санитарные нормы эксплуатации строения.

Масштабы производства автоклавных газобетонных блоков выросли к середине XX века. В период 1960-1970-х годов и стали развиваться новые

технологии и велись исследования взаимодействия различных добавок и способов изготовления на свойства газобетона и характеристики сырья, при этом использовались западные технологии месторождения газобетона как пористого материала, основанные на высокотехнологичном оборудовании и обеспечивающие однородность материала [7].

Свойства газобетона зависят от его микроструктуры и состава, который зависит от типа используемого связующего, методов порообразования и отверждения. Хотя газобетон изначально задумывался как хороший изоляционный материал, интерес к его структурным характеристикам был возобновлен с учетом его небольшого веса, экономии материалов при производстве и возможностью крупномасштабного использования отходов, таких как пылевидная топливная зола.

## **1.2. Виды, свойства и характеристики ячеистого бетона**

Ячеистый бетон относится к классу легких бетонов и отличается, главным образом, наличием в своей структуре пор. Существует большое количество разновидностей данного материала и в зависимости от способа поризации среди ячеистых бетонов выделяют следующие типы:

- Пенобетон – поры в данном виде ячеистого бетона более открыты, вследствие чего его влагостойкость и морозостойкость меньше газобетона;

- Газобетоны – имеет более точную геометрию и имеет более высокие теплоизоляционные характеристики в сравнении с пенобетоном.

В зависимости от способа затвердевания в процессе производства, ячеистый бетон бывает:

- Автоклавный бетон – затвердевает в процессе давления в автоклаве;

- Неавтоклавный – при естественном твердении в нормальных условиях.

Ячеистый бетон может характеризоваться различной плотностью и, как следствие, отличаться сферой применения. В зависимости от нижеперечисленных факторов, бывает:

- Теплоизоляционный ячеистый бетон – применяется как утеплитель, так как его плотность составляет  $400 \text{ кг/м}^3$  и меньше и отличается хорошим коэффициентом теплопроводности;

- Теплоизоляционно-конструкционный – данный вариант прочнее теплоизоляционного ячеистого бетона, его плотность начинается от 500 до  $900 \text{ кг/м}^3$ . Так как его плотность выше, как следствие, его способность к сохранению тепла уменьшается. Его применяют в сооружениях в 2-3 этажа и может использоваться как несущая конструкция;

- Конструкционный – данный вид ячеистого бетона является самым прочным. Его плотность варьируется от 1000 до  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Его применяют при возведении зданий до 5 этажей в качестве несущих стен, стен цокольного этажа и перегородок.

Исследуемый материал имеет хороший коэффициент теплопроводности за счет своей пористости, но стоит отметить, что увеличение теплопотерь в сооружении из ячеистого бетона возможно при:

- неоднородности конструкции ограждающих элементов здания – образование трещин и мостиков холода;

- узлы и решения, приводящие к запиранию отпускной влажности внутри стены или её накоплению;

- неэффективная ориентация дома по сторонам света и розы ветров;

- неэффективное распределение батарей и места с затрудненным воздухообменом.

В таблице 1 приведены характеристики по видам ячеистого бетона, которые наглядно показывают, какими свойствами обладает исследуемый материал при разной плотности. Данные характеристики зафиксированы в ГОСТ 25485-2019 «Бетоны ячеистые. Общие технические условия» [8]

Таблица 1 - Физико-механические свойства и физико-технические показатели изделий из ячеистых бетонов

Вид бетона	Плотность	Коэффициент теплопроводности бетона в сухом состоянии $\lambda_0$ , Вт/(м*°C)	Расчетные коэффициенты теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м*°C) для w=5%	Неавтоклавный газобетон		Автоклавный газобетон	
				Морозостойкость	Прочность на сжатие (класс)	Морозостойкость	Прочность на сжатие (класс)
Теплоизоляционный	D200	0.048	0.059	не установлен	B0,5-B1	не установлен	B0,5-B1,5
	D250	0.06	0.073				
	D300	0.072	0.088				
	D350	0.084	0.103				
Конструктивно-теплоизоляционный	D400	0.096	0.117	15-75	B1-B3,5	15-100	B1-B7,5
	D450	0.108	0.132				
	D500	0.12	0.147				
	D600	0.14	0.183				
	D700	0.17	0.208				
	D800	0.19	0.232				
Конструктивный	D900	0.22	0.269	15-50	B5-B12,5	15-50	B7,5-B15
	D1000	0.24	0.293				
	D1100	0.26	0.318				
	D1200	0.28	0.342				

Данные характеристики показывают, что при увеличении плотности, коэффициент теплопроводности уменьшается.

Из ячеистого бетона также изготавливают следующую продукцию:

- 1) Плиты перекрытия;
- 2) Стеновые и перегородочные блоки;
- 3) Стеновые панели;

- 4) Теплоизоляционные изделия;
- 5) Звукопоглощающие изделия;
- 6) Межкомнатные перегородки;
- 7) Перекрытия лотковые и брусковые;

### **1.3. Требования к материалам, применяемым для приготовления ячеистых бетонов**

Определенных параметров, по процентному соотношению материалов для производства ячеистого бетона нет, так как они зависят от плотности, последующей эксплуатации и размера продукции. Примерный состав для ячеистого бетона изображен на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Состав для производства ячеистого бетона



В качестве вяжущих материалов для приготовления ячеистых бетонов применяют [9]:

- **портландцемент** по ГОСТ 31108 [10] и ГОСТ 10178 [11] без добавок трепела, глиежа, трассов, глиниста, опоки, пеплов, содержащий трехкальциевый алюминат (С А) не более 8% по массе.

- **высокоосновную золу**, содержащую СаО не менее 40%, в том числе свободный СаО - не менее 16%, SO - не более 6% и R O - не более 3,5%;

- **известь негашеную кальциевую** по ГОСТ 9179 [12], быстро- и среднегасящуюся, имеющую скорость гашения 5-25 мин и содержащую активные СаО+MgO не менее 70%, "пережога" - не более 2%.

В качестве кремнеземистого компонента применяют:

- природные материалы - **кварцевый песок**, содержащий SiO не менее 85%, илистых и глинистых примесей не более 3%, монтмориллонитовых глинистых примесей - не более 1,5%;

- вторичные продукты промышленности и энергетики: золы-унос теплоэлектростанций, продукты обогащения различных руд, продукты собственного производства ("горбушки", обрезки).

Для получения поровой структуры ячеистого бетона применяются газо- и пенообразователи, которые обеспечивают заданную среднюю плотность и требуемые физико-механические показатели ячеистого бетона.

В качестве газообразователя применяется алюминиевая пудра по ГОСТ 5494 [13] или паста на основе алюминиевой пудры. В качестве пенообразователей применяют синтетические и белковые пенообразователи.

Для регулирования и улучшения свойств ячеистых бетонов применяют:

- добавки по ГОСТ 24211 [14];
- доменные гранулированные шлаки по ГОСТ 3476 [15];
- гипсовый камень по ГОСТ 4013 [16].

Виды добавок и требования к ним, обеспечивающие качество ячеистых бетонов в соответствии с настоящим стандартом, должны быть приведены в технологической документации на приготовление ячеистых бетонов конкретных видов.

Вода для приготовления ячеистого бетона должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732 [17].

#### **1.4. Преимущества и недостатки ячеистого бетона. Методы защиты**

Из вышеперечисленных параметров – наиболее распространены в строительстве конструкционно-теплоизоляционные ячеистые бетоны, которые обладают следующими преимуществами [18]:

- низкая теплопроводность;
- хорошая звукоизоляция;
- огнестойкость;
- легкий вес по сравнению с другими материалами для малоэтажного строительства, например тяжелыми бетонами или кирпичом;
- быстрая технология возведения [19];
- долговечность.

Из недостатков ячеистых бетонов можно выделить следующее:

- хрупкость;

- низкая несущая способность;

- хорошо впитывает влагу, что приводит к разрушению конструкции и ухудшению температурно-влажностного состояния помещений [20, 21].

Основная функция наружной отделки — это увеличить долговечность и улучшить условия эксплуатации конструкции.

Высохшая кладка из ячеистого бетона может вторично увлажняться из-за брызг в зоне отмостки, косых дождей, талого снега и дождя на козырьках. Для предотвращения увлажнения от погодных условий возможно, с помощью отделки фасада.

Различные виды отделки для ячеистого бетона: любые навесные облицовки с воздушным зазором – декоративные панели, сайдинг, вагонка, искусственный камень, плитка и т.д., облицовка декоративным кирпичом с воздушным зазором, штукатурка на цементно-песчаном растворе, простая окраска кладки. Используя штукатурку и облицовки можно дополнительно повысить долговечность и улучшить влажностное состояние поверхностных слоев кладки, снизить ее воздухопроницаемость.

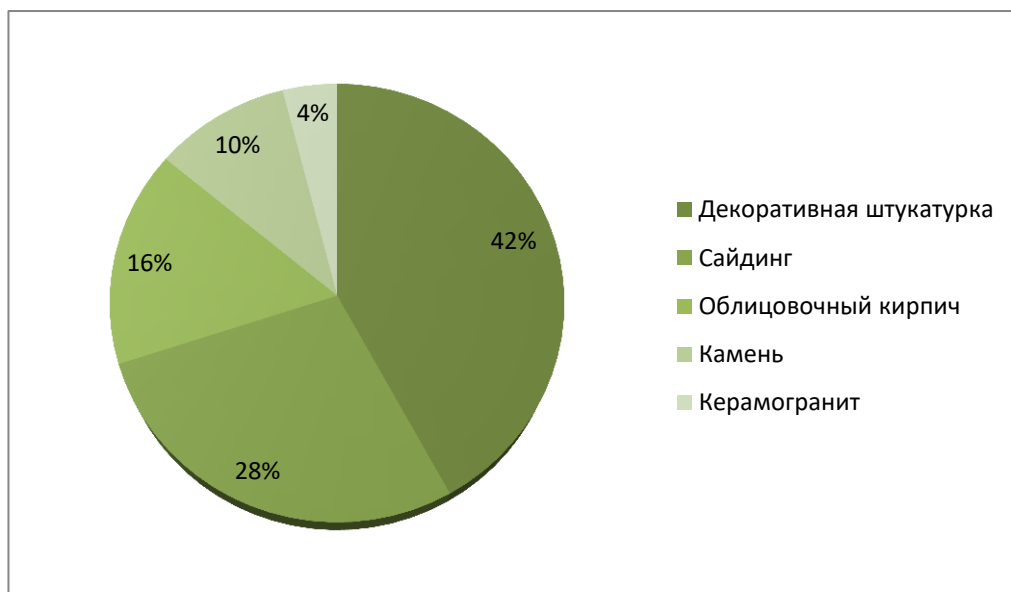


Рисунок 2.2 – Статистика использования фасадных материалов

Среди строительных материалов для облицовки фасадов, есть большой ассортимент отделки. Согласно статистике [24], декоративная штукатурка пользуется большим спросом. Следом по рейтингу идет сайдинг. На третьем, четвертом и пятом месте расположились – облицовочный кирпич, камень и керамогранит (рис. 2.2).

### Нормативные требования к характеристикам отделки

Четкие требования сформулированы только для покрытий, наносимых на ячеистый бетон «мокрым способом» и адгезионно связанных с ним. Косвенные требования ко всем видам отделки вытекают из СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [25], разделы 7 «Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и помещений» и 8 «Защита от переувлажнения ограждающих конструкций».

Подробный разбор различных видов отделки дан ниже. Здесь приведены только общие ограничения. Итак, требования к адгезионно связанной с ячеистым бетоном наружной отделке, формализованные в виде физико-технических характеристик отделочных слоев, изложены в трех документах.

1. СН 277-80 Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001 [26]. (табл. 8).

2. СТО 501-52-01 Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации. Часть 1. (табл. 8.1) [27].

3. Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения / Ассоциация НААГ. – Белгород, 2010. (табл. 3) [28].

Таблица 2 - Требования к отделочным покрытиям наружных стен из  
ячеистого бетона

№	Параметр	Метод определения	Нормируемые значения, единицы измерения	Применимость
1а	Сопротивление паропрооницанию (для отделочных покрытий на основе толстослойных штукатурок), $R_{\text{пр}}$	По диффузии насыщенного пара в среду ненасыщенного ( $\phi_{\text{д}} = \%55$ ) в стационарных условиях ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) согласно ГОСТ 25898	$R_{\text{пр}} \leq 0,5$ $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$	Для наружной отделки отапливаемых зданий. 1а, 1б – конструктивные ограничения, 1в – целевое требование
1б	Сопротивление паропрооницанию (для отделочных покрытий на основе тонкослойных штукатурок и отделочных покрытий без штукатурных слоев), $R_{\text{пр}}$	По диффузии насыщенного пара в среду ненасыщенного ( $\phi_{\text{д}} = \%55$ ) в стационарных условиях ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) согласно ГОСТ 25898	$R_{\text{пр}} \leq 0,2$ $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$	
1в	Сопротивление паропрооницанию <sup>1,2,3</sup>	По ГОСТ 25898	$R_{\text{пр}} \leq R_{\text{пр}2}$ (см. прим. 1)	
2	Водопоглощение при капиллярном подсосе	По ГОСТ 58277	$w \leq 0,5$ кг/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$ ).	Для наружной отделки
3	Адгезия к ячеистому бетону	Адгезия к основанию по ГОСТ 58277	$R_{\text{ад}} \geq 0,15$ МПа	
4	Морозостойкость контактной зоны	Определение морозостойкости контактной зоны согласно ГОСТ 58277	F35	Для наружной отделки
5	Устойчивость к разрыву по трещине в ячеистом бетоне	Растяжение образца с отделкой при раскрывающейся трещине по ГОСТ 31383	Целостность покрытия при раскрытии трещины под ним от 0 до 0,3 мм	

Примечание:

Сопротивление паропрооницанию  $R_{\text{пр}2}$  назначается из условия ограничения влаги в слое за отделкой в период с отрицательными средними

месячными температурами наружного воздуха, определяется по формуле 8.2 [9].

Требования трех документов, которые изложены выше, сходны с ГОСТ 25485-2019 «Бетоны ячеистые. Общие технические условия» [8] методы определения характеристик приведены со ссылкой на стандартные методы испытаний, поэтому процитирован только данный ГОСТ в табл. 2.

Все формализованные требования можно разделить на три группы:

- сопротивление паропрооницанию не больше допустимого;
- защита от атмосферной капельной влаги не меньше требуемой;
- долговечность этих качеств.

Исходя из статистики, приведенной выше (рис. 2.2), можно сделать вывод, что штукатурка – наиболее распространенный вид отделки ячеистого бетона. Следовательно в данном исследовании будут рассматриваться конструкции из ячеистого бетона со штукатурной отделкой.

#### Выбор штукатурных составов

Наружная отделка фасада для ячеистого бетона должна иметь высокую паропроницаемость и низкую прочность. Данными свойствами обладает большинство специально предназначенных для ячеистого бетона штукатурок. Поэтому необходимо использовать специально предназначенные для ячеистого бетона сухие штукатурные смеси заводской готовности.

Хорошо показывают себя также обычные поризованные растворы с плотностью до  $1300\text{--}1500\text{ кг/м}^3$ , и известково-песчаная смесь с добавлением небольшого количества (3–5% по массе) цемента.

Таблица 3 - Требования к штукатурным составам для наружной отделки стен из ячеистого бетона

№	Параметр	Метод определения	Нормируемые значения, единицы измерения	Применимость
1а	Средняя плотность (для толстослойных* штукатурок)	По ГОСТ 12730.1	Не более 1300 кг/куб.м	Для наружной отапливаемых зданий
1б	Средняя плотность (для тонкослойных* штукатурок)	По ГОСТ 12730.1	Не более 1600кг/куб.м	
2	Марка по прочности на сжатие	По ГОСТ 10180	От М15 до М75**	Конструктивное ограничение
3	Марка по морозостойкости	По ГОСТ 58277	Не менее F50	Целевое требование
4	Водоудерживающая способность (для штукатурок, предназначенных для нанесения без предварительного грунтования)	По ГОСТ 5802	≥98%	Для наружной отделки

\*к толстослойным штукатуркам относятся штукатурки со средней толщиной слоя более 7 мм, к тонкослойным — со средней толщиной 7 мм и менее.

\*\*более высокая прочность допустима для наружного слоя многослойных штукатурных систем.

Данные требования, приведенные в табл. 3, направлены на обеспечение нормируемых характеристик наружной отделки, которые прописаны в табл. 1. Требования косвенные, поэтому при условии обеспечения требований табл. 1 могут не выполняться. Строго говоря, табл. 1 предъявляет требования к покрытию, а табл. 2 рекомендует способы получения итоговых характеристик.

## 1.5. Анализ рынка на потребление ячеистого бетона

В настоящее время, данный строительный материал набирает большую популярность с каждым годом, и это довольно обоснованно, так как дома из таких блоков возводятся быстро и просто. С начала массового строительства городского жилья и на сегодняшний день, совокупность характеристик ячеистого бетона соответствует всем показателям и критериям комфортности для возведения стеновых конструкций. В то же время, в России активно развивается малоэтажное строительство, как следствие этому стало – развитие государственной программы в целях формирования строительства жилья эконом класса, которое удовлетворяет требованиям экологичности и энергоэффективности [22]. Динамика спроса на ячеистый бетон растет с каждым годом, благодаря своему соотношению низкой цены и хорошего качества (рис. 3).

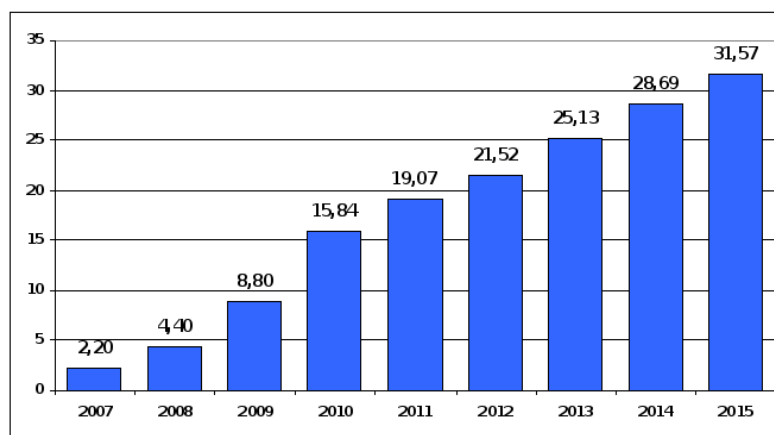


Рисунок 3 - Динамика объемов спроса на ячеистый бетон в малоэтажном строительстве в 2007-2015 гг., в млн. куб.м.

В 2020 году Российская строительная индустрия использовала 36 млн. куб.м. газобетона, что соответствует годовому росту на 4,7% [37]. Динамика применения ячеистого бетона по регионам различная, при этом темпы увеличения применения ячеистого бетона везде остаются высокими. На



рисунке 4 можно увидеть использование газобетона по округам России в период с 2005-2014гг.

На рисунке 4 отмечается высокий спрос на ячеистый бетон в центральном, северо-западном, приволжском, сибирском и уральском округе. Стоит отметить, что для данных регионов России – показатели энергоэффективности материалов являются ключевыми, так как низкие показатели энергоэффективности сооружений приводят к ухудшению условий обитания людей, состоянию сооружений и разрушению из-за более суровых климатических условий и переменчивой погоды [23].

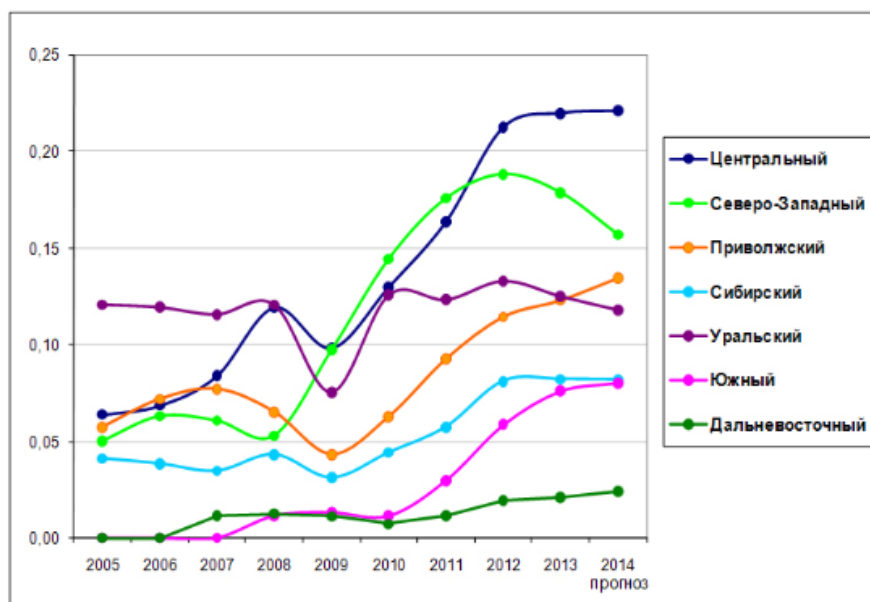


Рисунок 4 - Применение ячеистого бетона по федеральным округам России (куб.м на 1 кв.м нового жилья)

По данной статистике можно сделать вывод, что с 2010 года выделяется устойчивый спрос на ячеистый бетон.

## **1.6. Вывод по первой главе**

Несмотря на то, что ячеистый бетон, как новый материал, появился относительно недавно, но предпосылки и его зарождения началось очень давно, основной ценностью ячеистого бетона как строительного материала по-прежнему были и остаются его теплоизоляционные качества.

Состав ячеистого бетона не изменился с начала его зарождения, однако новые методы изготовления ячеистого бетона, соотношение материалов в составе и возможное применение – всё так же появляются через новые исследования и актуальны для возможного применения.

Спрос на применение ячеистого бетона в РФ растет с каждым годом. Его востребованность заключается в низкой теплопроводности, хорошей звукоизоляции, огнестойкости, долговечности.

Поскольку главным недостатком ячеистого бетона является пористость и влагонакопление, как следствие, пониженные эксплуатационные характеристики конструкции, таким образом, изучение вопроса влагонакопления и тепло-массопереноса в конструкции из ячеистого бетона – является актуальной задачей.

Исходя из статистики, можно сделать вывод, что штукатурка – наиболее распространенный вид отделки ячеистого бетона. В связи с этим, в данном исследовании будут рассматриваться конструкции из ячеистого бетона со штукатурной отделкой.

## **ГЛАВА 2. Методика расчета**

### **2.1. Постановка задачи. Основные понятия теплопередачи и тепло-массообмена**

Теплопередача (теплообмен) – это самопроизвольный процесс распространения тепла в пространстве, или же обмен внутренней энергии между разными областями рассматриваемой среды. В твердых телах единственный способ передачи теплоты является теплопроводность. Существуют способы передачи теплоты такие как – конвекция (в жидких телах и газах) и излучение (радиация и магнитные волны). Теплопередача – это теплообмен между двумя жидкостями через стенку. Теплопередача, это частный случай теплообмена.

Тепло-массообмен – это наука о процессах распространения тепла в переменном поле температур и распространения массы и переменном поле концентрации.

Теплопроводность – это перенос тепла от более нагретых элементов тела к менее нагретым.

Рассматриваемая задача представляет собой угол стены различных геометрических размеров, с одной стороны поддерживается постоянная температура ( $t_{int}$ ) и влажность ( $w_{int}$ ), с обратной стороны происходят изменение температуры ( $t_{ext}$ ) и влажности ( $w_{ext}$ ) в следствии погодных изменений. Сбор исходных данных для расчета по погодным условиям использовался СП 131.13330.2020.

Расчет можно выполнить двумя методами:

- 1) СП 50.13330.2012
- 2) Методами численного моделирования

### 2.1.1. Расчет ограждающих конструкций по СП 50.13330.2012

Определим значения базовых требуемых и нормируемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций по табл. 3 [29]:

$$R_0^{\text{ТР}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$  - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 4 [29].

$$R_0^{\text{НОРМ}} = R_0^{\text{ТР}} * m_p \quad (2)$$

где  $R_0^{\text{ТР}}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяемое по формуле 1;

$m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете по формуле (2) принимается равным 0,63 [29].

$$\text{Отсюда } R_0^{\text{НОРМ}} = R_0^{\text{ТР}}.$$

ГСОП - градусо-сутки отопительного периода,  $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ , для конкретного пункта, определяемый по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{от}}$ ,  $z_{\text{от}}$  - средняя температура наружного воздуха,  $\text{°C}$ , и продолжительность,  $\text{сут}/\text{год}$ , отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2020 для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более  $8 \text{ °C}$ ;

$t_{\text{в}}$  - расчетная температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ .

Нормируемые температурные перепады  $\Delta t^H$  между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций [29]:

Жилой части: стен – 4,0 °С, чердачного перекрытия – 3,0 °С, полы – 2,5°С.

Условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания,  $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$ , которое определяется по формуле:

$$R_0^{pp} = R_0^{ycl} \cdot r = \left( \frac{1}{\alpha_B} + \sum R_S + \frac{1}{\alpha_H} \right) \cdot r, \quad (4)$$

где  $\alpha_B$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $Wt / (m^2 \cdot ^\circ C)$ , принимаемый согласно таблице 3 [20];

$\alpha_H$  - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $Wt / (m^2 \cdot ^\circ C)$ , принимаемый согласно таблице 6 [29];

$\sum R_S$  - термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента,  $(m^2 \cdot ^\circ C) / Wt$ , определяемое по формуле:

$$R_S = \frac{\delta_S}{\lambda_S}, \quad (5)$$

$\delta_S$  - толщина слоя, м;

$\lambda_S$  - расчетная теплопроводность материала слоя,  $Wt / (m \cdot ^\circ C)$ , в случае отсутствия данных принимается по приложению Г [29].

Температурный перепад между температурой внутреннего воздуха  $t_B$  и температурой внутренней поверхности  $t_0$  ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{t_B - t_H}{R_0^{ycl} \alpha_B}, \quad (6)$$

где  $\alpha_B$  – то же, что и в формуле (4);

$t_B$  - то же, что в формуле (3);

$t_H$ - расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по [30];

$R_o^{ysl}$  - условное сопротивление теплопередаче, определяемое по формуле (4).

Для определения парциального давления насыщенного водяного пара применяется формула:

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(\frac{-5330}{273+t}\right) \quad (7)$$

Далее определяется парциальное давление водяного пара:

$$e_x = e_B - \frac{(e_B - e_H)}{R_n} \cdot \sum R, \quad (8)$$

где  $e_B$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па;

$e_H$  – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па;

$\sum R$  – сумма сопротивления паропрооницанию слоев ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг;

$R_n$  – сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг.

Для определения суммарных теплопотерь конструкции за отопительный период,  $Q$ , кВт\*ч/м<sup>2</sup> с одного квадратного метра, воспользуемся формулой:

$$Q = A * (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) * z_{\text{от.пер.}} * 24/R_0^{\text{пр}} \quad (9)$$

где  $A$  – площадь ограждающей конструкции;

$24$  – количество часов в сутках;

$t_{\text{в}}$  – то же, что и в формуле 3;

$t_{\text{от}}$  – то же, что и в формуле 3;

$z_{\text{от.пер.}}$  – то же, что и в формуле 3;

$R_0^{\text{пр}}$  – условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания,  $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , рассчитывается по формуле (4).

Затраты на компенсацию тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции здания определяем по формуле

$$З = Q \cdot T_{\text{от}}, \quad (10)$$

где  $Q$  – суммарные теплопотери конструкции, Гкал с одного квадратного метра;

$T_{\text{от}}$  – тариф на тепловую энергию, руб/Гкал.

Тарифы на тепловую энергию принят по [35] 1689,05 руб./Гкал.

Приведенное сопротивление теплопередаче определим по формуле :

$$R_0^{\text{пр}} = R_0^{\text{усл}} \cdot r \quad (11)$$

$r$  – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений

$$r = 0.92$$

Расчет паропроницаемости рассчитывается следующим образом:

Для определения плоскости возможной конденсации определим для каждого слоя значение комплекса  $f_i(t_{м.у.})$  согласно СП 50.13330.2012 по формуле (8.7)

$$f_i(t_{м.у.}) = 5330 \cdot R_{о.п.} \cdot (t_{в.} - t_{н.отр.}) \cdot \mu_i / R_0^{усл.} / (e_{в.} - e_{н.отр.}) / \lambda_i; \quad (12)$$

где  $R_{о.п.}$  - общее сопротивление паропроницаемости ограждающей конструкции  $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$  определяемое согласно формуле Е7 по СП 50.13330.2012;

$R_0^{усл.}$  - то же что и в формуле (4);

$t_{н.отр.}$  - средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами,  $^{\circ}C$  и равно  $11,4^{\circ}C$  - согласно таблицы 1 СП 131.13330.2020

$t_{в.}$  - то же, что и в формуле (3);

$e_{в.}$  - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па

$$e_{в.} = (\varphi_{в.} / 100) E, \quad (13)$$

$E$  - определяемое формулой (7);

$e_{н.отр.}$  - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па, определяемое так же как и формулой 7, при  $t = -11,4^{\circ}C$ .

$\lambda_i$  и  $\mu_i$  - расчетные коэффициенты теплопроводности,  $Вт / (м^2 \cdot ^{\circ}C)$  и паропроницаемости  $мг / (м \cdot ч \cdot Па)$

Сопротивление паропроницанию  $R_{п.н.}$ ,  $м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$ , должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропроницанию, определяемых по формулам 8.1 и 8.2 СП 50.13330.2012, приведенных соответственно ниже:

$$R_{п1}^{тп} = (e_{в.} - E) * R_{п.н.} / (E - e_{н.}), \quad (14)$$



где,  $E$  - парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле  $E = (E_1z_1 + E_2z_2 + E_3z_3)/12$ , где  $E_1, E_2, E_3$  - парциальные давления водяного пара, Па, принимаемые по температуре  $t_i$ , в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;  $z_1, z_2, z_3$ , - продолжительность, мес, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая с учетом следующих условий:

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5 °С;

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5 °С;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше плюс 5 °С.

$$R_{n2}^{TP} = 0,0024z_0(e_b - E_0)/(p_w \delta_w \Delta w_{av} + \eta), \quad (15)$$

### 2.1.2. Численный метод

В данной работе стоит основная задача – определение и прогнозирование влагонакопления ограждающих конструкций, и решение данной задачи сводится к системе уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu \left\{ \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial z^2} \right\} = G \\ E = 1,84 \cdot 10^{-11} \exp\left(\frac{-5330}{T}\right) \\ \lambda \left( \frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial z^2} \right) + L_v \delta_v \cdot \left( \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi E}{\partial z^2} \right) = Q \end{array} \right.$$

где  $\mu$  – коэффициент паропроницаемости, кг/(с · м · Па);

$\varphi$  – относительная влажность, %;

$x, y, z$  – координаты температурного поля;

$E$  – то же, что и в формуле 7;

$T$  – температура, К;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С).

Для решения данной задачи вместе с данной системой уравнений, заданы условия однозначности, описанные далее.

## 2.2. Условия однозначности для процессов теплопроводности

Условия однозначности, для уравнения теплопроводности, включают в себя:

- геометрические условия (размеры тела);
- физические условия (свойства тела: теплопроводность, теплоемкость, плотность);
- начальное условие (температура тела);
- граничные условия (температура и влажность окружающей среды (внутри и снаружи помещения)).

Температурные поля могут быть - стационарными и нестационарными. Если температура тела зависит от координат, но не зависит от времени, данный расчет называется – стационарным. Если температура тела зависит от времени, то данный расчет называется – нестационарным.

При стационарном расчете, решение представляет собой совокупность температуры в данный период времени:

$$T = f(x, y, z) \quad (1)$$

где  $x, y, z$  – координаты поверхности тела;

При нестационарном расчете, используется формула для распределения температуры в каждый момент времени:

$$T_c = f(x, y, z, \tau) \quad (2)$$

где  $T_c$  – температура на поверхности тела (стены);

$\tau$  – время.

Для определения плотности теплового потока на всей поверхности тела используется формула:

$$-\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right) = f(x, y, z, \tau) \quad (3)$$

где  $\left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)$  – производная температуры по направлению нормали к изотермической поверхности.

### **2.3. Выводы по второй главе**

1. Метод расчета по своду правил не позволяет дать точную оценку и расчет влагонакопления из-за постоянного изменения сорбционной влажности материала в реальных климатических условиях и условиях эксплуатации. В результате того что не учитывает временной характер диффузии воды в материалах конструкции.

2. Этого можно достичь расчетом влагонакопления конструкции в программном комплексе методом численного моделирования.

3. Данный расчет позволит дать более точную оценку тепло-массопереноса в конструкциях послойно, а так же отобразит градиенты температур и изменения влаги в материалах.

## ГЛАВА 3. Результаты исследования и оценка полученных данных

### 3.1. Объекты исследования

Расчет выполнен для двух вариантов конструктивного исполнения:

1) типовой узел угла (рис. 5) из СТО НААГ 3.1-2013 [33] с монолитным поясом и междуэтажным перекрытием, применяемый в строительстве индивидуальных жилых домов - (вариант 1);

2) узел угла (рис. 5) с монолитным поясом существующего индивидуального жилого дома, находящегося в г. Красноярске - (вариант 2).

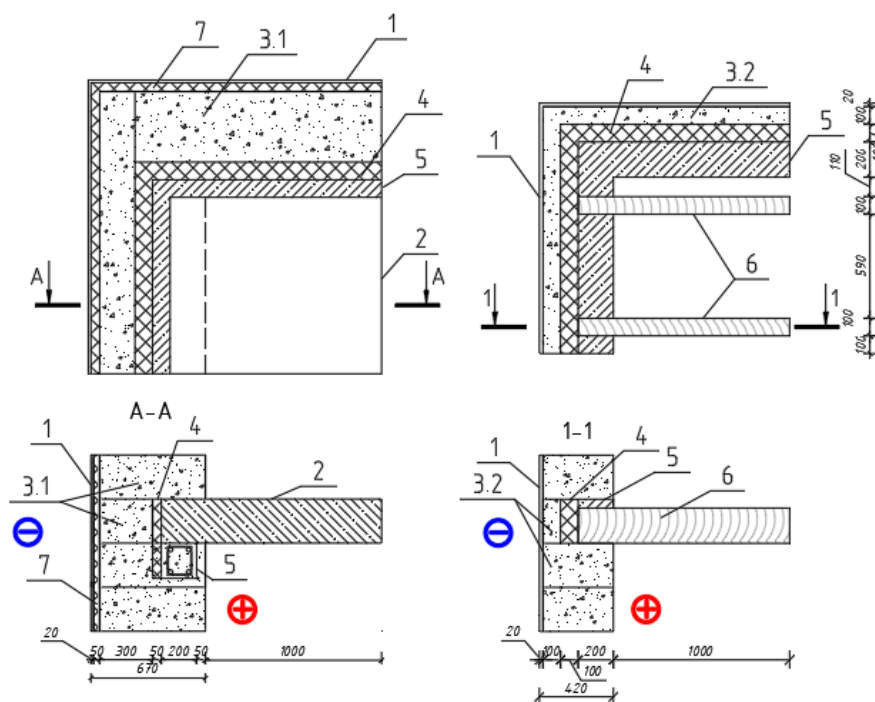


Рисунок 5 - Слева – вариант 1, справа – вариант 2.

1 - штукатурный слой; 2 –плита перекрытия; 3.1 – газобетон D600; 3.2 - газобетон D400; 4 – экструдированный пенополистерол; 5 – обвязочный пояс; 6 – деревянные балки; 7 - минераловатная плита

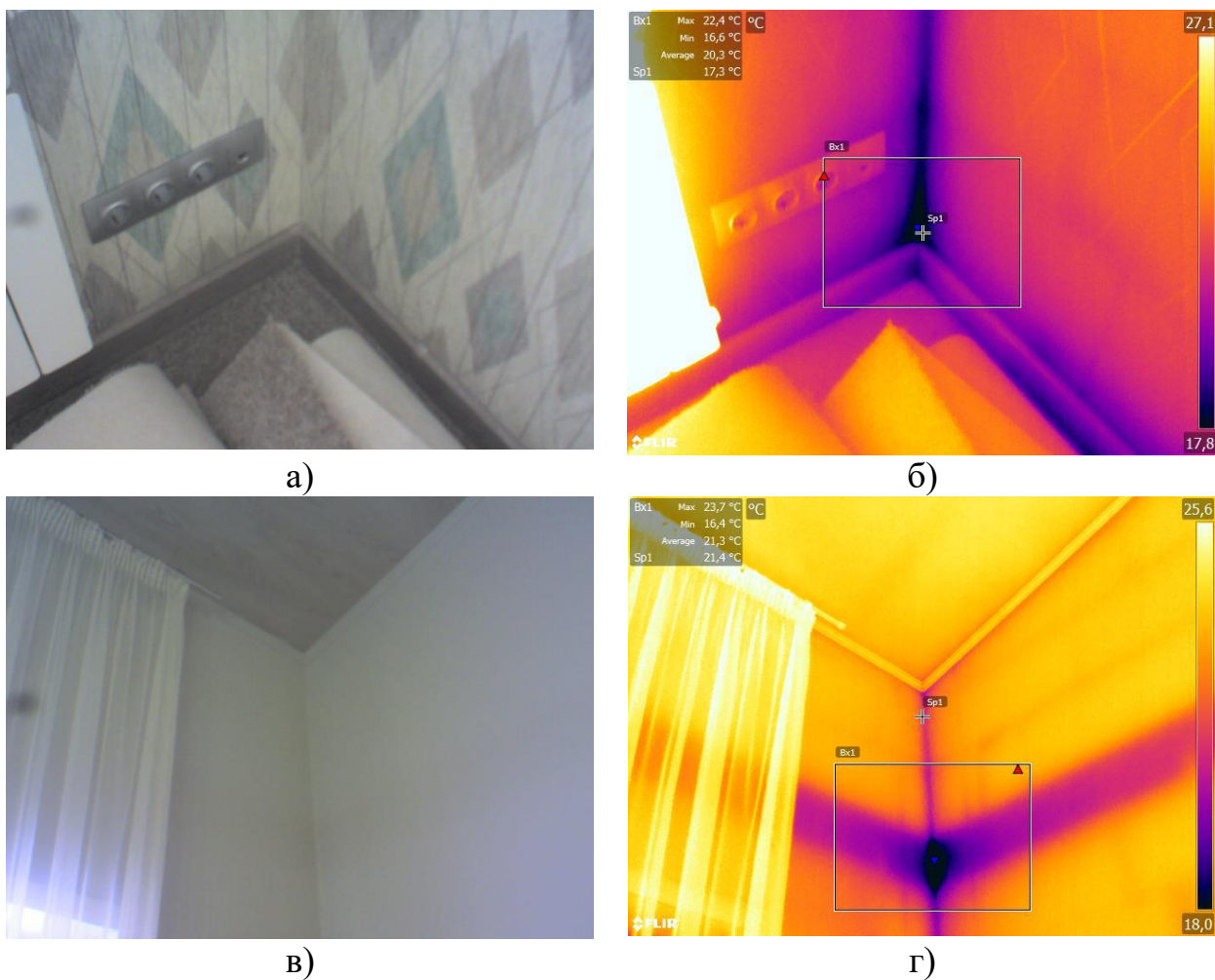


Рисунок 6 – Тепловизионное обследование конструкции «вариант 2»

Для измерения и регистрации температур на внутренней поверхности угла использовался прибор ThermaCAM SC640. Тепловизионное обследование проводилось 25 января 2022 года. Исследуемый объект находился по адресу: г. Красноярск, ул. Дачная 18. На основании результатов тепловизионного обследования (рис. 6) выявлено, что локальное понижение температуры происходит в углу с монолитным поясом. На основании данного анализа было принято решение – исследовать влагонакопление угла стены из ячеистого бетона.

Измеренные параметры при тепловизионном исследовании:

- 1) Температура помещения – плюс 23,7°С;
- 2) Температура наружного воздуха – минус 12,7°С;

3) Минимальная температура в углу – плюс 16,4°С.

### 3.2. Исходные данные

Численное моделирование производилось в программном комплексе COMSOL.

Для расчета принят г. Красноярск. Зависимость теплопроводности от сорбционной влажности материалов ограждающей конструкции принимается как -  $\lambda(\varphi)$ .

#### Исходные данные для расчета

- климатические параметры (среднемесячные значения температуры и относительной влажности наружного воздуха (таб. 4));
- параметры микроклимата в помещении (таб. 5);
- теплотехнические показатели используемых материалов ограждающей конструкции (таб. 6) и сорбционная влажность (таб. 7);
- граничные условия:

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности,  $\alpha_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) стенового ограждения – 23 [29];

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности,  $\alpha_b$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) стенового ограждения – 8,7 [29].

Таблица 4 - Климатические параметры в г. Красноярске

Месяц	Температура наружного воздуха $t_{ext}, ^\circ\text{C}$ [30]	Температура наружного воздуха $t_{ext}, \text{K}$ [30]	Относительная влажность наружного воздуха $\varphi_{ext}, \%$ [30]	Парциальное давление, Па [29]
Январь	-16,3	256,85	89	160
Февраль	-13,9	259,25	83	180
Март	-5,9	267,25	72	290

Апрель	2,4	275,55	60	440
Май	9,7	282,85	56	680
Июнь	16,4	289,55	64	1200
Июль	18,7	291,85	71	1540
Август	15,6	288,75	77	1360
Сентябрь	9	282,15	77	880
Октябрь	1,7	274,85	75	520
Ноябрь	-7,4	265,75	84	300
Декабрь	-13,6	259,55	86	190

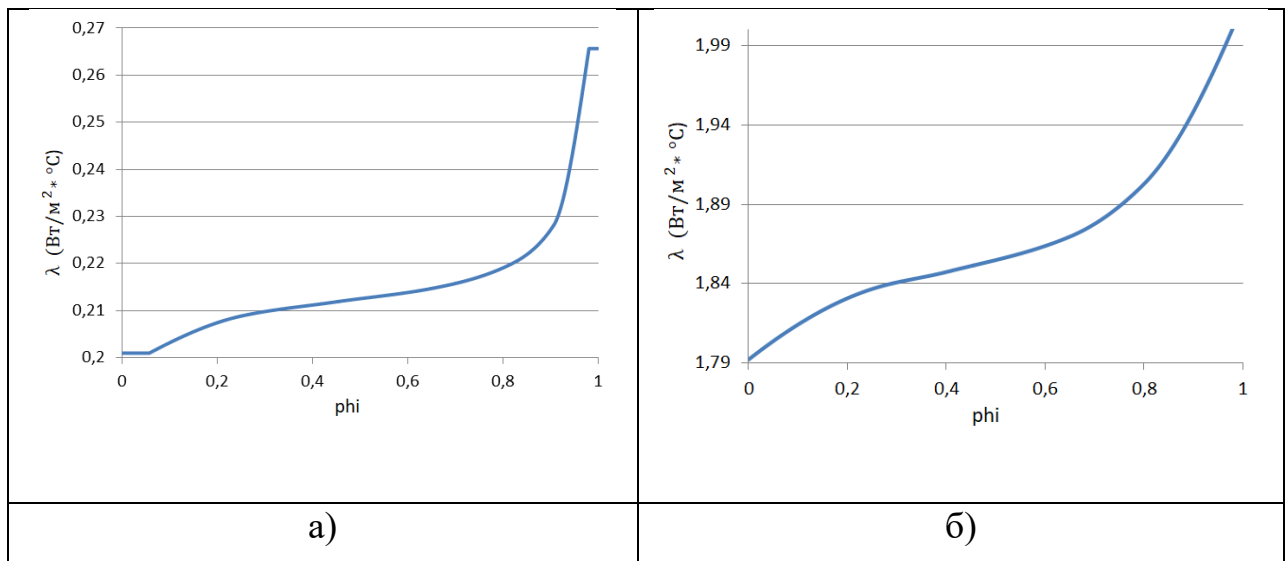
Таблица 5 - Параметры микроклимата в помещении

<b>Параметры</b>	<b>Значение параметров</b>	<b>Источник</b>
1. Расчетная температура внутреннего воздуха, $t_{в}$ , °С: - жилая комната	+21	Табл. 3 ГОСТ 30494-2011; СП 50.13330.2012
2. Относительная влажность воздуха $\varphi_{int}$ , %: -для жилой комнаты	55%	п. 5.7. СП 50.13330.2012;
3. Температура точки росы $t_p$ , °С: -для жилой комнаты	11,62	Прил. Р, СП 23-101-2004
4. Продолжительность отопительного периода, $z_{от}$ , сут (со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°С)	235	СП 131.13330.2018
5. Средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода, $t_{от}$ , °С	-6,5	СП 131.13330.2018
6. Влажностный режим эксплуатации помещений: -для жилой комнаты	нормальный	Табл.1 СП 50.13330.2012
7. Зона влажности	сухая	Прил. В СП 50.13330.2012

Таблица 6 - Теплотехнические характеристики стеновой конструкции

Материал	Теплопроводность, Вт/(м <sup>20</sup> С)λ, [34]	Толщина слоя, м.
1. Штукатурный слой (раствор цементно-песчаный), γ=1500 кг/м <sup>3</sup>	λ (φ)	0,02
2. Ячеистый бетон, γ=600 кг/м <sup>3</sup>	λ (φ)	0,6
3. Железобетон, γ=2500 кг/м <sup>3</sup>	λ (φ)	0,1-0,2
4. Дерево (сосна), γ=500 кг/м <sup>3</sup>	λ (φ)	0,1
5. Ячеистый бетон, γ=600 кг/м <sup>3</sup>	λ (φ)	0,4
2. Утеплитель – минераловатная плита, γ=75 кг/м <sup>3</sup>	0,042	0,05
5. Утеплитель – экструдированный пенополистирол, γ=40 кг/м <sup>3</sup>	0,034	0,05-0,1

Зависимости теплопроводности от сорбционной влажности для раствора на цементном вяжущем, ячеистого бетона и тяжелого бетона - приняты по графикам рис. 7.





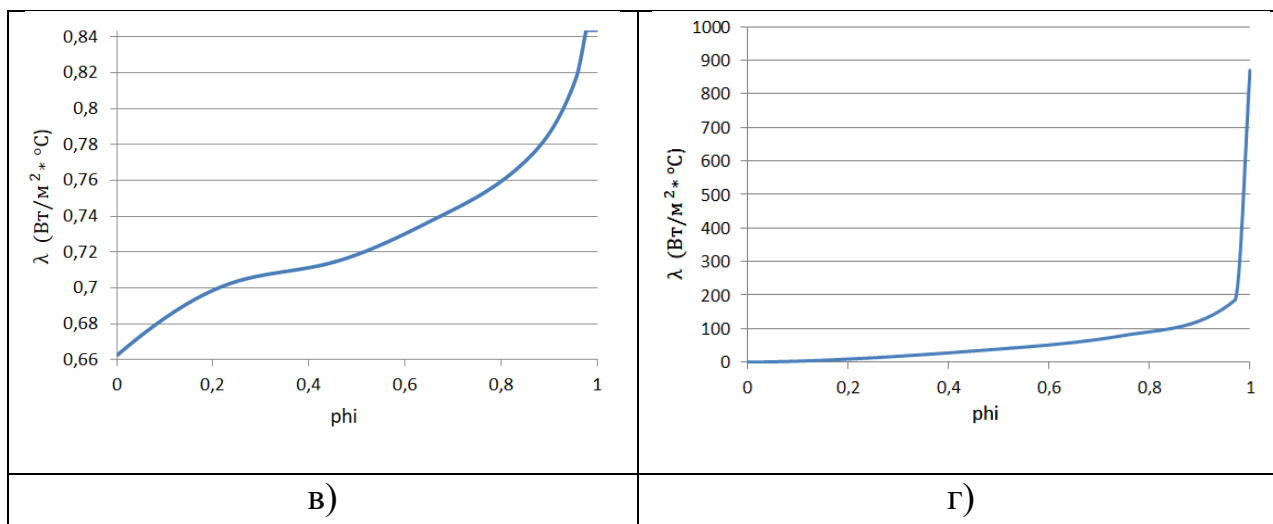


Рисунок 7 – Зависимость теплопроводности от сорбционной влажности для: а) ячеистого бетона; б) тяжелого бетона; в) раствора на цементном вяжущем; г) дерева.

При составлении графиков учитывались значения теплопроводности в зависимости от условий эксплуатации А – 80% и Б - 97% в соответствии с СП 50.13330.2012 [29].

Влагонапожнение в слоенной минераловатной плите и экструдированного пенополистерола не учитывалось, так как расчетная характеристика теплопроводности данных материалов при условиях эксплуатации конструкции А и Б незначительна:

- для минераловатной плиты: А=0,042 Вт/м\*°С, Б=0,047 Вт/м\*°С;
- для экструдированного пенополистерола: А=0,034 Вт/м\*°С, Б=0,035Вт/м\*°С;

Сорбционная влажность материалов взята из каталога [34] и представлена в таблице 7.

Таблица 7 - Сорбционная влажность материалов

№	Материал	Относительная влажность воздуха	Массовая влажность, %	Объемная влажность, кг/м <sup>3</sup>
1	Ячеистый бетон	0,05	1	5,04
		0,25	2,6	13,104
		0,44	3,2	16,128
		0,65	3,8	19,152
		0,80	4,7	23,688
		0,90	6,5	32,76
		0,98	14,1	71,064
2	Тяжелый бетон	0,25	0,91	20,93
		0,40	1,12	25,76
		0,65	1,58	36,34
		0,80	2,24	51,52
		0,98	4,26	97,98
3	Раствор на цементном вяжущем	0,25	1,26	25,2
		0,44	1,56	31,2
		0,65	2,26	45,2
		0,85	3,3	66
		0,95	4,67	93,4
		0,97	5,48	109,6

### 3.3. Результаты исследования

#### 3.3.1 Градиенты температур

Численным расчетом была выявлена минимальная температура в углу конструкций за самый холодный месяц (январь). Данные приведены на рис.8.

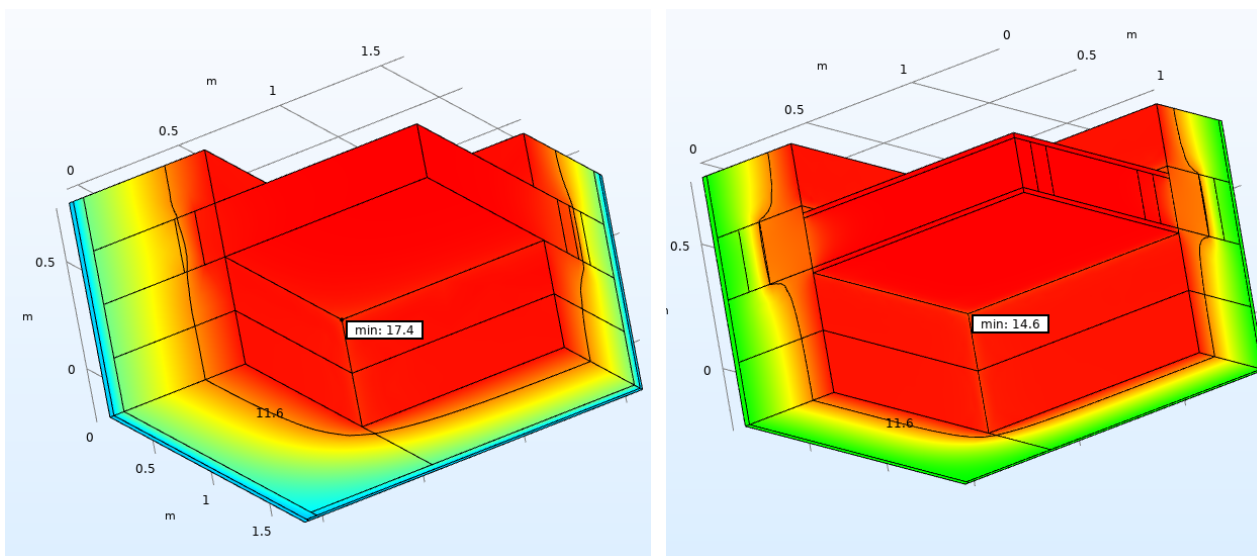


Рисунок 8 – Минимальная температура в углу для января: слева -конструкция 1 (600мм); справа -конструкция 2 (400мм).

### Вывод

Нормируемый температурный перепад по СП 50.13330.2012 между температурой наружного воздуха и температурой в помещении для жилых зданий составляет – 4 °С.

Представленные на рисунке 12 результаты расчетов показывают, что:

- в конструкции вариант 1 (600мм) минимальная температура в углу составляет – 17,4 °С, что удовлетворяет требованиям СП 50.

- для конструкции вариант 2 (400мм) данное условие не выполняется, так как минимальная температура данной конструкции составляет – 14,6 °С.

### **3.3.2. Результаты нестационарного расчета за 12 месяцев**

В результате численного моделирования тепло-массопереноса [36] в исследуемых узлах из ячеистого бетона, получены значения распределения влаги в слоях конструкции по месяцам в течение одного года. Усредненное содержание влаги по слоям в конструкциях представлено в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 - Содержание влаги в слоях ограждающей конструкции варианта 1

Месяц	Ячеистый бетон, кг/м <sup>3</sup> (рис. 5,6)	Тяжелый бетон, кг/м <sup>3</sup> (рис. 7,8)	Раствор на цементном вяжущем кг/м <sup>3</sup> (рис. 9,10)	Вся конструкция, кг/м <sup>3</sup> (рис. 13,14)	Температура в углу, °С
1	2	3	4	5	6
Январь	16,8	30,57	72,53	18,9	17,4
Февраль	16,75	30,5	62,49	18,55	17,6
Март	16,75	30,52	50,76	18,26	18,4
Апрель	16,5	30,49	41,04	17,94	19,2
Май	16,86	30,64	38,02	18,02	19,9
Июнь	17,88	31,39	44,22	18,92	20,6
Июль	18,87	32,18	49,89	19,79	20,8
Август	19,2	32,41	55,36	20,16	20,5
Сентябрь	18,28	31,64	55,38	19,49	19,8
Октябрь	17,46	31,01	53,43	18,84	19,1
Ноябрь	16,8	30,55	53,44	18,36	18,2
Декабрь	16,91	30,6	66,96	18,78	17,6

Таблица 9 - Содержание влаги в слоях ограждающей конструкции варианта 2

Месяц	Ячеистый бетон, кг/м <sup>3</sup>	Тяжелый бетон, кг/м <sup>3</sup>	Раствор на цементном вяжущем кг/м <sup>3</sup>	Дерево, кг/м <sup>3</sup>	Вся конструкция, кг/м <sup>3</sup>	Температура в углу, °С
1	2	3	4	5	6	7
Январь	25,1	41,9	72,3	46,1	25,7	14,1
Февраль	22	37,7	62,4	44,9	22,8	14,6
Март	19,4	34,2	50,7	44,1	20,3	16,1
Апрель	17,9	32,3	41,1	43,9	18,8	17,6
Май	17,6	31,7	38	44,2	18,4	19
Июнь	18,3	32,1	44,2	45,1	19,3	20,2
Июль	19,2	33	49,9	45,9	20,2	20,6
Август	20,3	34,5	55,3	46,4	21,3	20
Сентябрь	20,3	34,7	55,3	45,8	21,3	18,8
Октябрь	19,9	34,5	53,4	45	20,9	17,5
Ноябрь	22,4	37,9	63,8	45,6	23,2	15,8
Декабрь	23,3	39,3	66,82	45,5	24	14,60

Нормируемый температурный перепад по СП 50.13330.2012 [29] между температурой внутреннего воздуха и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции для жилых зданий – 4 °С. Для конструкции «вариант 2» данное условие выполняется.

На диаграмме 1 можно увидеть, как может изменяться влагонакопление ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) в течение одного года в конструкции из ячеистого бетона в зависимости от конструктивного исполнения и времени года.

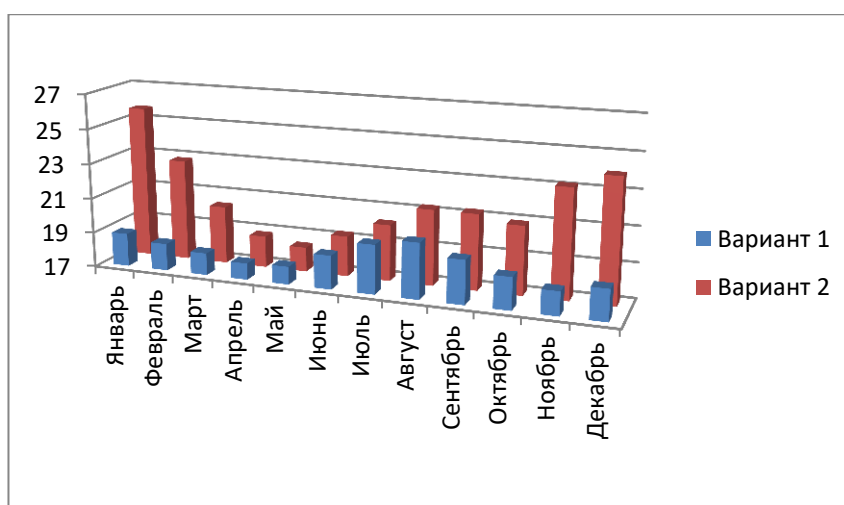


Диаграмма 1 –Сравнение конструкций по влажностному состоянию

По данной диаграмме можно увидеть, что в конструкции 1 (600мм) происходят плавные изменения влажности, в то время как в конструкции 2(400мм) наблюдаются резкие скачки влажности.

Были получены значения изменения содержания влаги в конструкциях послойно для каждого материала в течение 12 месяцев (рис. 9-12).

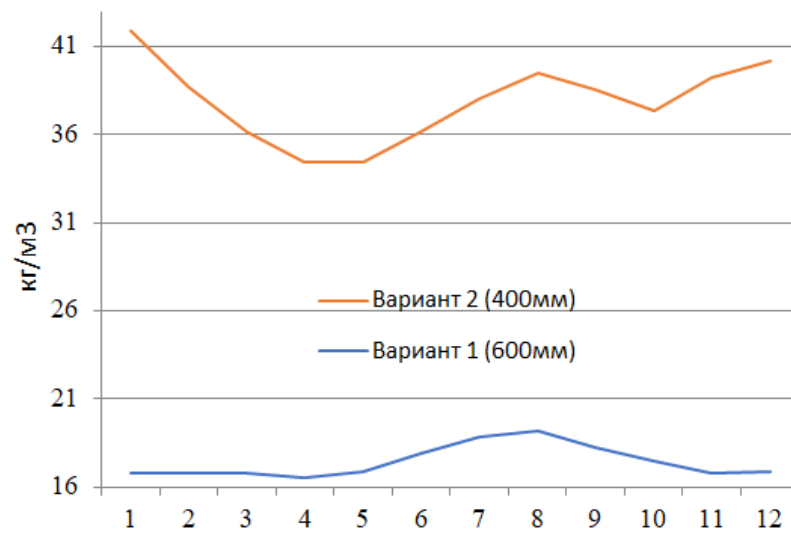


Рисунок 9 – Изменение содержания влаги в ячеистом бетоне ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )

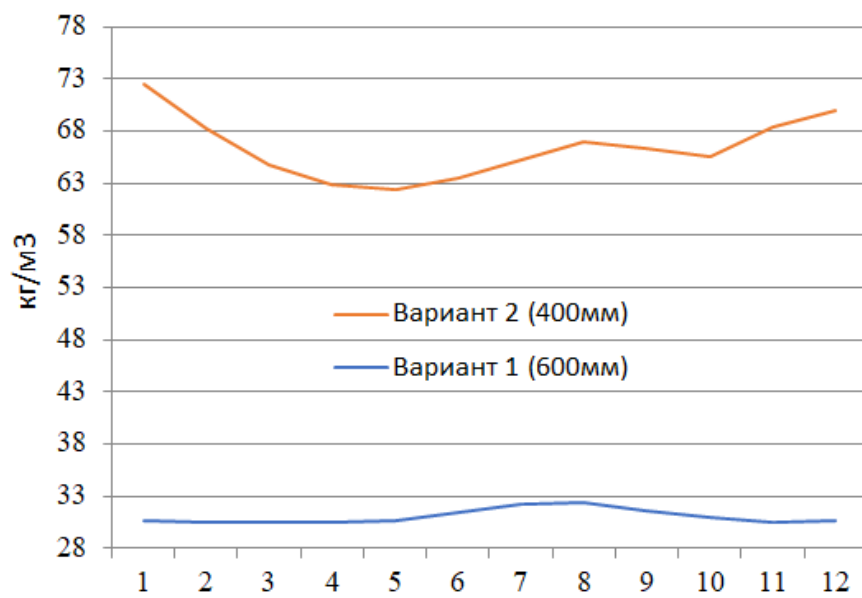


Рисунок 10 – Изменение содержания влаги в тяжелом бетоне ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )

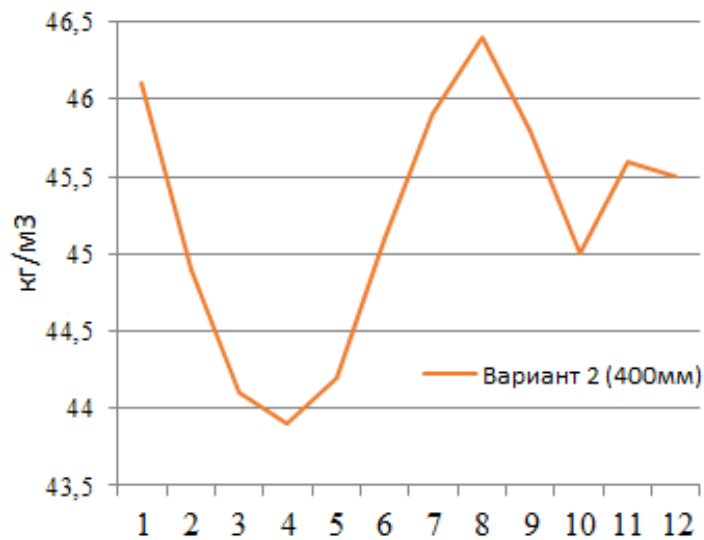


Рисунок 11 – Изменение содержания влаги в дереве (кг/м³)

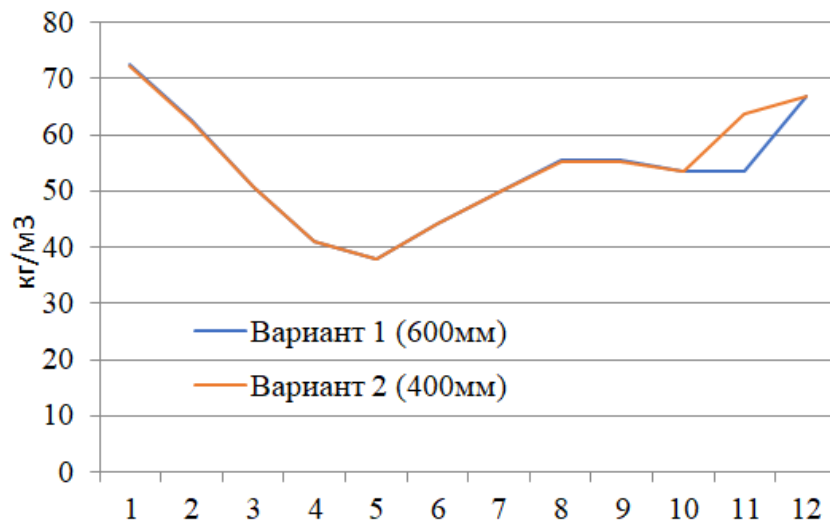


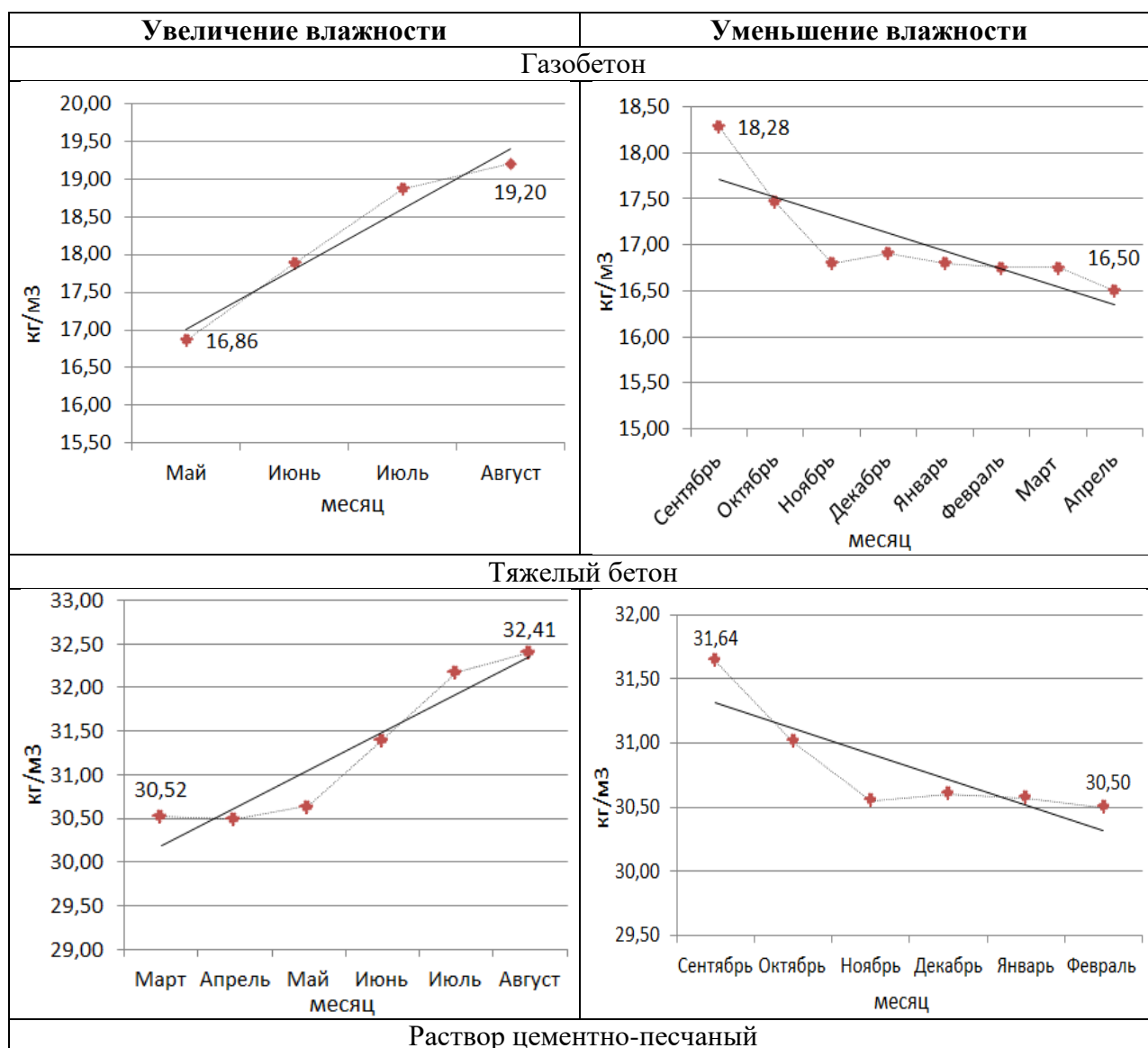
Рисунок 12 – Изменение содержания влаги в цементно-песчаном растворе (кг/м³)

Наибольшее увеличение количества влаги по всей конструкции имеет конструкция вариант 2 (400мм) в январе и составляет 25,7 кг/м³, при этом конструкция вариант 1 (600мм) имеет влагонакопление в январе 18,9 кг/м³. Конструкция вариант 1 накапливает влагу в среднем на 26% меньше, чем конструкция вариант 2.

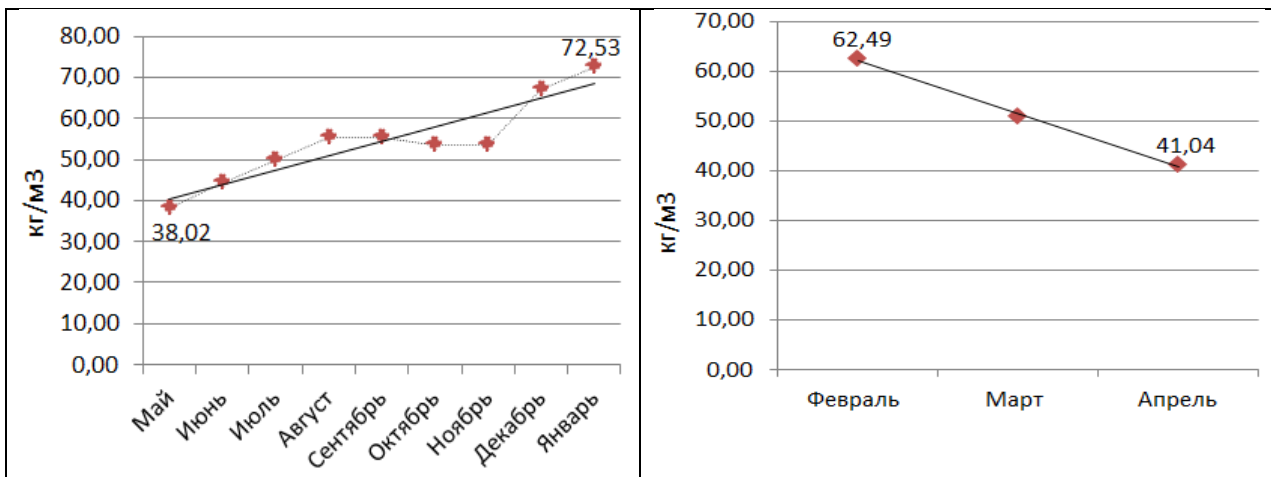
### 3.3.3. Изменение влажности за 12 месяцев конструкции вариант 1 (600мм)

Исходя из таблицы 8 – составлены графики, которые приведены ниже в таблице 10. На данных графиках выведены изменения влажности в материалах конструкции по месяцам.

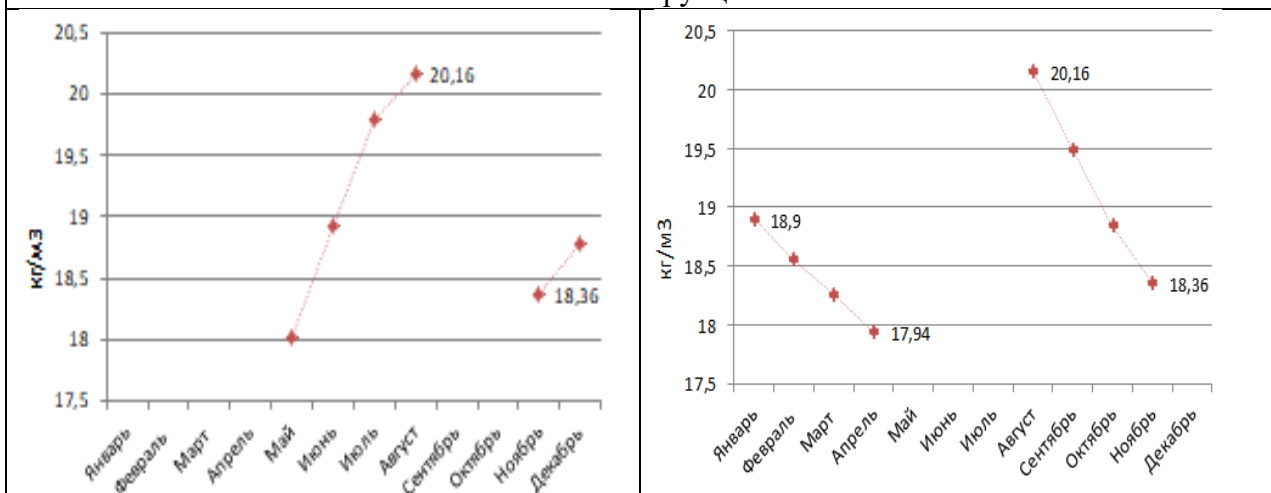
Таблица 10 – Изменение влажности в материалах конструкции по месяцам







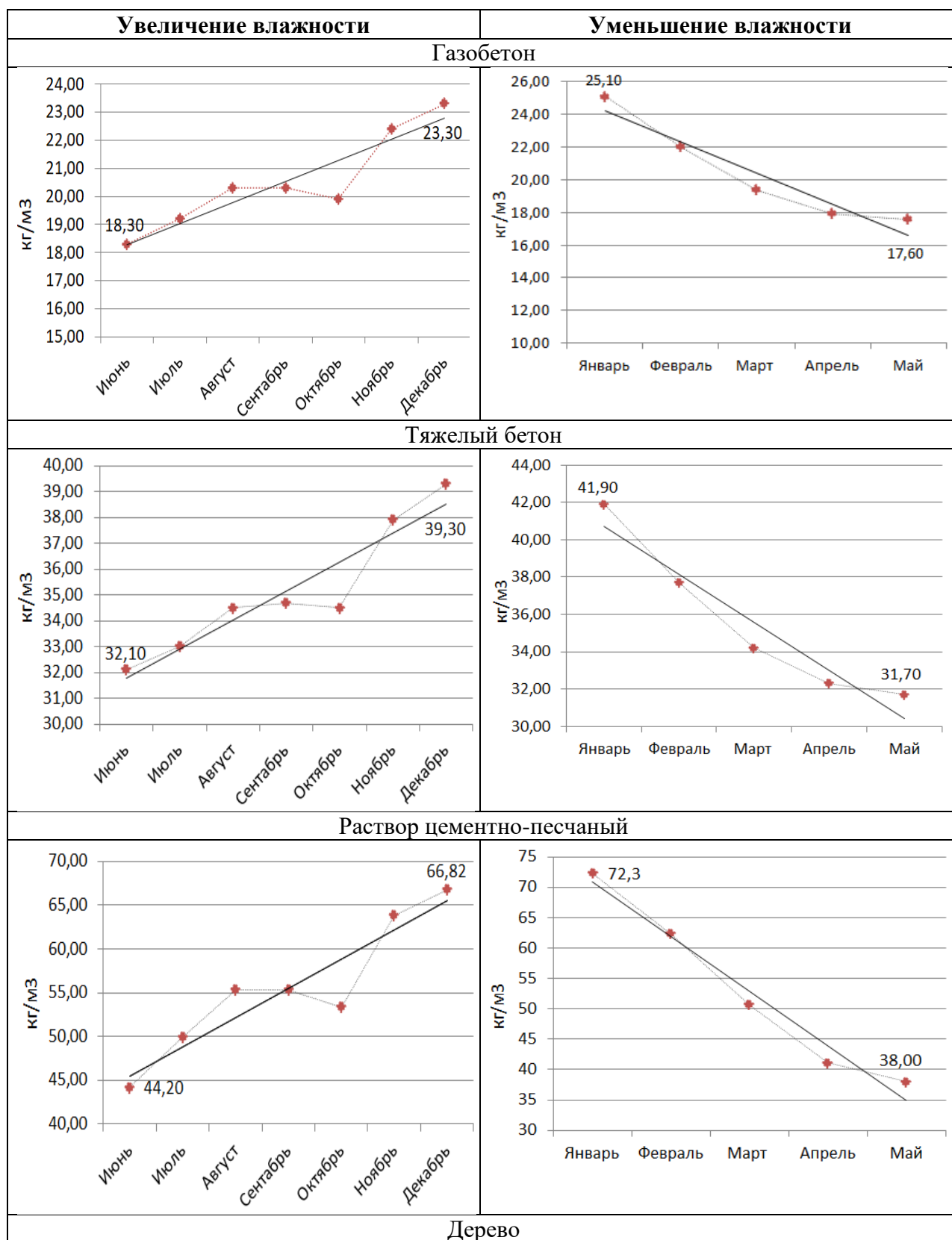
Вся конструкция

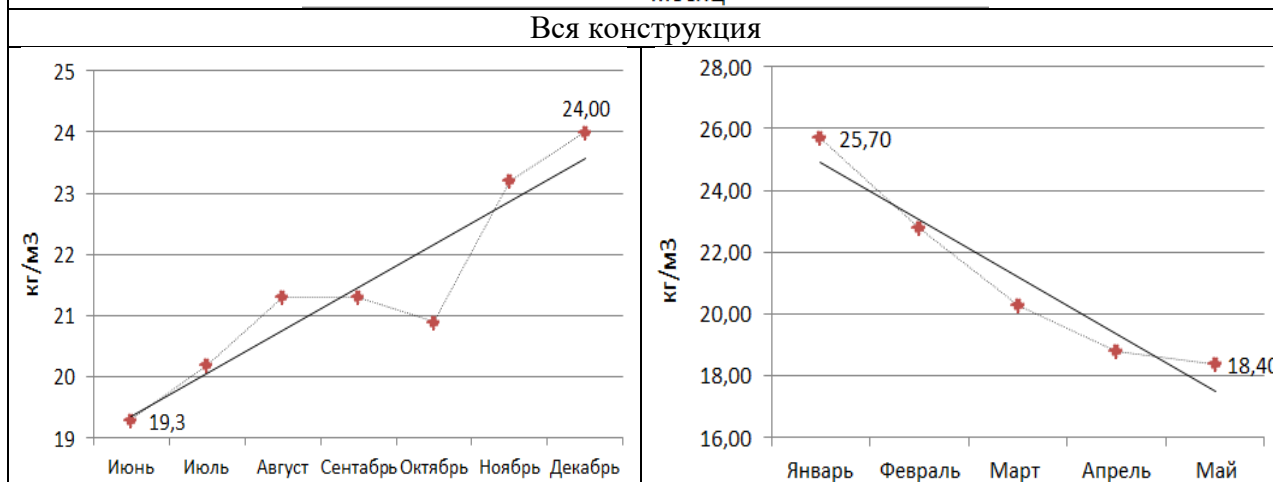
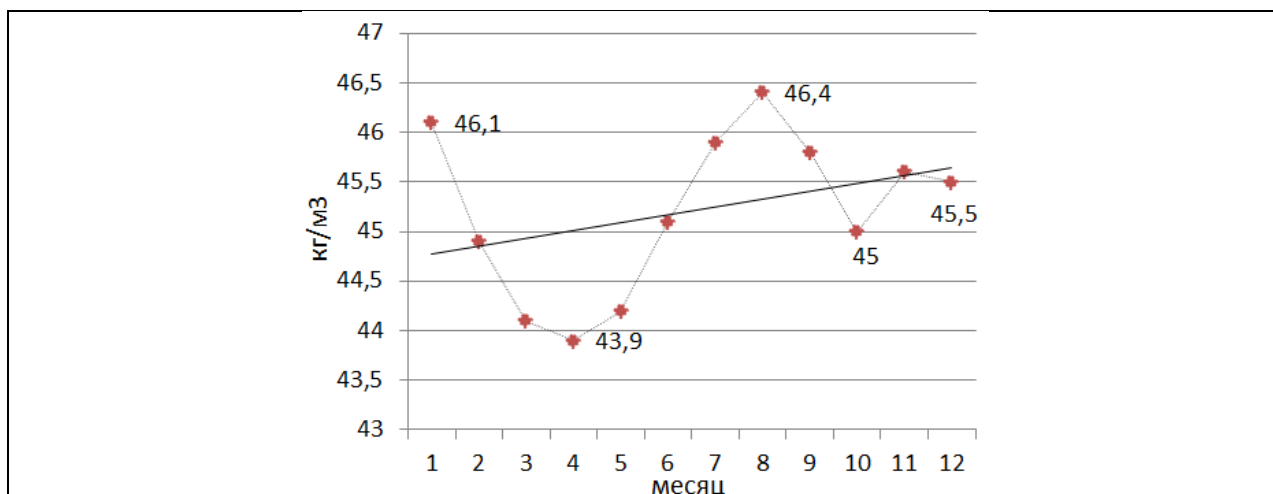


### 3.3.4. Изменение влажности за 12 месяцев конструкции вариант 2 (400мм)

Исходя из таблицы 9 – составлены графики, которые приведены ниже в таблице 11. На данных графиках выведены изменения влажности в материалах конструкции по месяцам.

Таблица 11 – Изменение влажности в материалах конструкции по месяцам





Исходя из графиков приведенных выше в таблицах 10 и 11, сведены значения по двум конструкциям (таб. 12 и 13), в которых можно сравнить изменения влагосодержания по массе исследуемых конструкций за 12 месяцев.

Таблица 12– Изменение влажности в материалах конструкции 1 (600мм)

Материал	Изменение влагосодержания за годовой период, кг/м³			Скорость изменения влагосодержания за годовой период, кг/(мес*м³)		
	Увеличение	Уменьшение	Среднее значение	Увеличение	Уменьшение	Среднее значение
Ячеистый бетон	2,34	-1,78	0,56	0,8	-0,19	0,61
Тяжелый бетон	1,89	-1,14	0,75	0,44	-0,20	0,24
Раствор цементно-песчаный	34,51	-21,45	13,06	3,52	-10,7	-7,18

Вся конструкция	2,14	-1,55	0,59	0,73	-0,16	0,57
-----------------	------	-------	------	------	-------	------

Таблица 13 – Изменение влажности в материалах конструкции 2 (400мм)

Материал	Изменение влагосодержания за годовой период, кг/м <sup>3</sup>			Скорость изменения влагосодержания за годовой период, кг/(мес*м <sup>3</sup> )		
	Увеличение	Уменьшение	Среднее значение	Уменьшение	Увеличение	Среднее значение
Ячеистый бетон	5	-7,5	-2,5	0,8	-1,9	-1,1
Тяжелый бетон	7,2	-10,2	-3	1,21	-2,58	-1,37
Раствор цементно-песчаный	34,3	-22,6	11,6	3,35	-8,99	-5,64
Дерево	3,1	-3,6	-0,5	0,69	-0,82	-0,13
Вся конструкция	4,7	-7,3	-2,6	0,7	-1,86	-1,16

### Вывод

В результате численного моделирования тепло - массопереноса в исследуемых узлах из ячеистого бетона, получены значения распределения влаги в слоях конструкции по месяцам в течение одного года.

По данным таблиц 12 и 13 можно сделать вывод, что конструкция 1 (600мм) накапливает влаги меньше, чем конструкция 2(400мм):

- ячеистый бетон конструкции 1 (600мм) накапливает 2,34 кг/м<sup>3</sup> влаги, что на 46,8% меньше конструкции 2 (400мм);

- наиболее явные изменения по влажности имеет раствор цементно-песчаный. Данный материал находится с наружной стороны конструкции и более подвержен климатическим изменениям;

- вся конструкция 1 (600мм) имеет среднее значение влагосодержания  $0,59 \text{ кг/м}^3$  и свидетельствует о том, что за 12 месяцев в данной конструкции влагосодержание не изменяется, при этом, конструкция 2 (400мм) имеет уменьшение влажности по всей конструкции.

### 3.3.5. Результаты нестационарного расчета за 10 лет

В данной работе, помимо нестационарного расчета за годовой период, были рассчитаны показатели изменения влагонакопления стеновых конструкций из ячеистого бетона в течение 10 лет. Результаты данного расчета сведены в таблицу 14 и отображены на рисунках 13 и 14.

Таблица 14 – Расчет влагонакопления в течение 10 лет

Позиция, №	Толщина стены из ячеистого бетона	Облицовочный материал	Ячеистый бетон	Тяжелый бетон	Дерево
1. Скорость увеличения содержания влаги, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{мес})$	600 мм	0,0028	0,0005	0,00001	-
	400 мм	0,0034	0,0004	0,0065	0,0048
2. Максимальное/Минимальное содержание влаги на конец 10 года эксплуатации ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )	600 мм	72,4/38,4	17,9/17,3	25,1/25,04	-
	400 мм	71,04/38,3	23,0/18,8	36,26/33,96	45,80/44,9
3. Разница между максимальным и минимальным содержанием влаги на конец 10 года эксплуатации ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )	600 мм	34	0,6	0,06	-
	400 мм	32,74	4,2	2,36	0,18

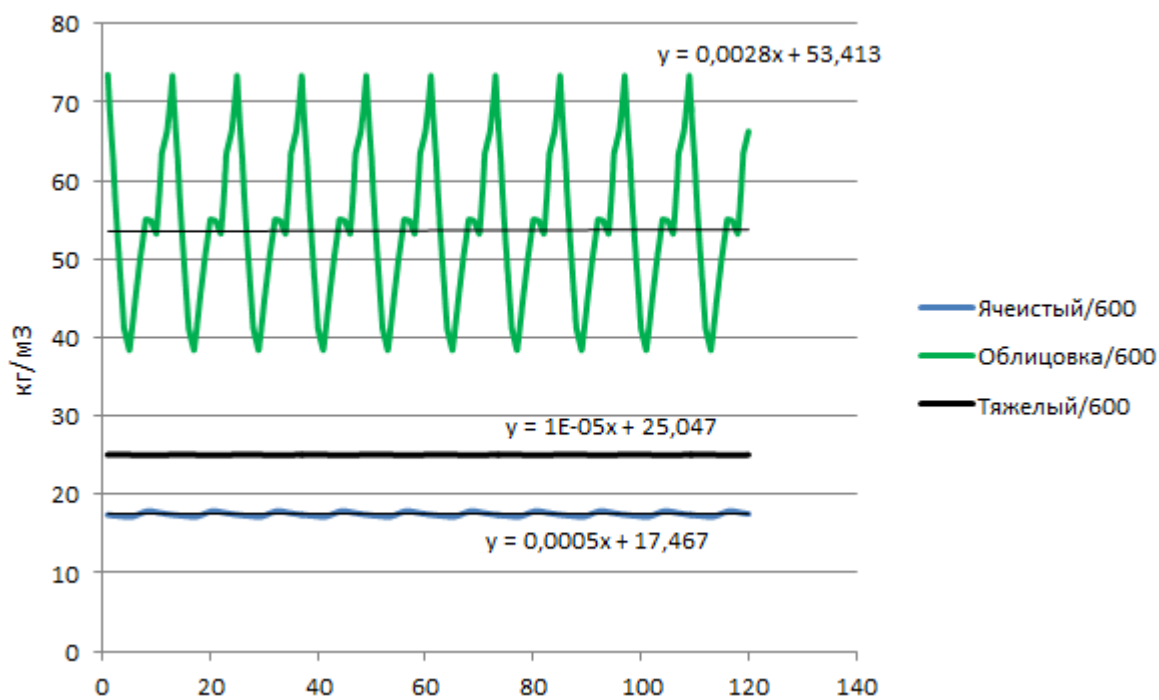


Рисунок 13 – Изменение влажности в материалах конструкции 1 (600мм) за 10 лет

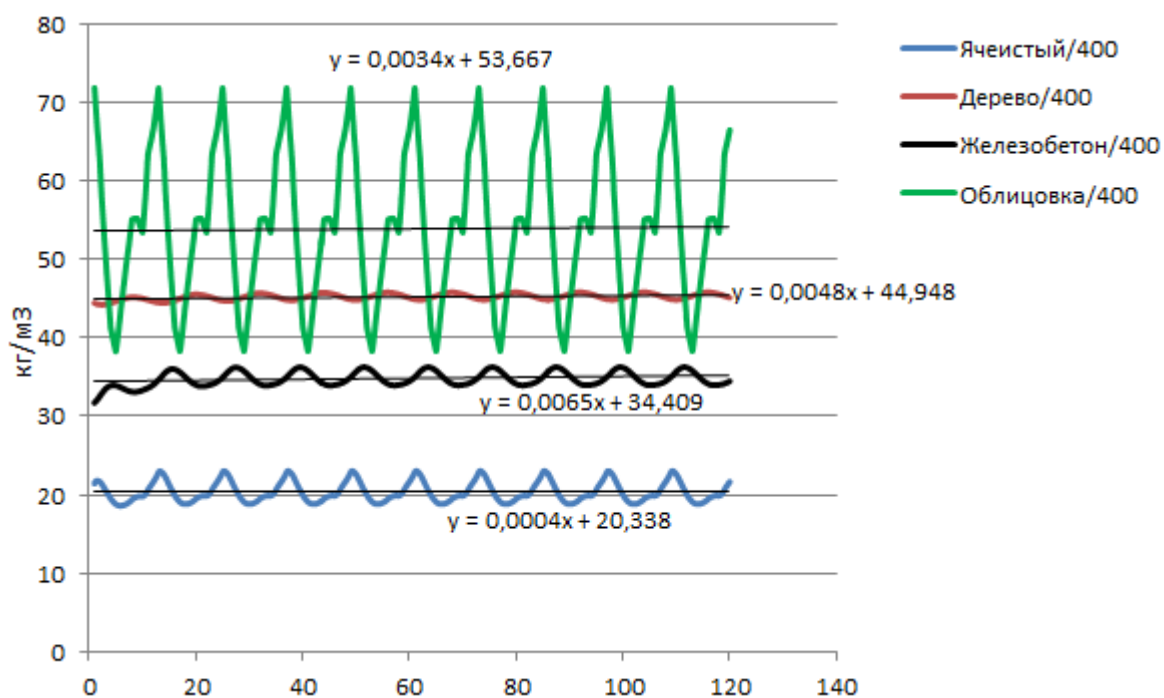


Рисунок 14 – Изменение влажности в материалах конструкции 2 (400мм) за 10 лет

По результатам расчетов были получены кривые изменения влаги в материалах конструкции за 10 лет, представленные на рисунках 13 и 14. В таблице 14 сведены значения по данному расчету. Исходя из полученных данных, можно сделать выводы:

- облицовочный материал из цементно-песчаного раствора, набирает одинаковое количество влаги в двух конструкциях (п. 2 таб. 14);

- ячеистый бетон в конструкции вариант 2 (400мм) набирает больше влаги на 22,2% , чем конструкция 1 (600мм) (п. 2 таб. 14);

- разница между максимальным и минимальным значением содержанием влаги на конец 10 года эксплуатации в ячеистом бетоне конструкции вариант 1 (600мм), составляет – 0,6кг/м<sup>3</sup>, в конструкции вариант 2(400мм) – 4,2, что на 85,7% больше конструкции 1. (п. 3 таб. 14). Следовательно, на конец 10 года эксплуатации, конструкция 2(400мм) продолжает изменять влагу, при этом, в конструкции 1(600мм) данный параметр практически не значителен;

- в ячеистом и тяжелом бетоне наблюдаются явные циклы изменения влажности в конструкции 2 (400мм) (рис. 14), при этом в конструкции 1 (600мм) резких скачков по данным материалам нету (рис. 13);

- результаты выполненные за 1 год и 10 лет по минимальному и максимальному изменению влаги практически совпадают, однако для всех слоев материалов исследуемых видов узлов конструкции, наблюдается увеличение влажности, кг/(м<sup>3</sup>\*мес). Об этом свидетельствует значения угловых коэффициентов линий тренда.

### **3.3.6. Результаты расчета по своду правил**

Конструкция стены вариант 1 (600мм) – кладка из ячеистого бетона с применением утеплителя на фасаде из минераловатных плит и отделки из

цементно-песчаного раствора. Схема части стеновой конструкции представлен на рисунке 15, характеристики материалов стеновой конструкции представлены в таблице 15.

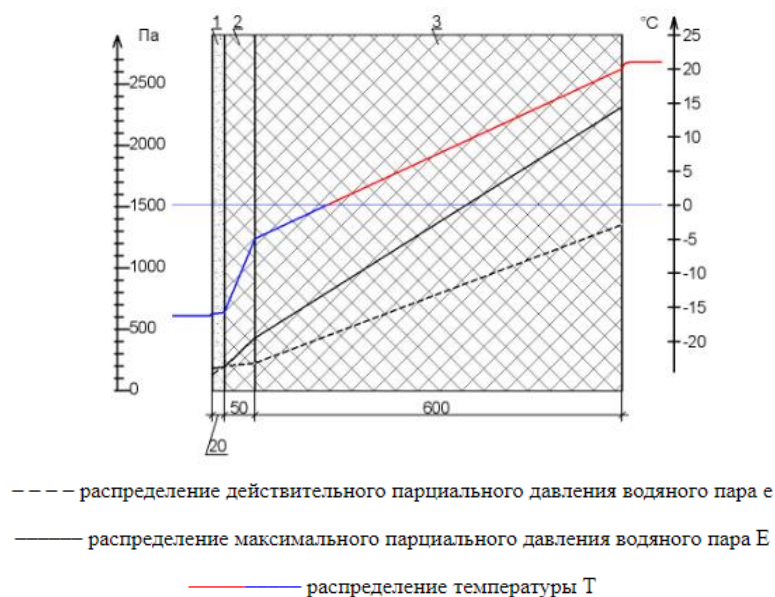


Рисунок 15 – Кривые распределения давления

Таблица 15 – Характеристики материалов стеновой конструкции

Материал	Теплопроводность , Вт/(м <sup>2</sup> °C)		Толщина слоя δ, м.	Паропроницаемость μ, мг/(м·ч·Па)	Источник
	λ <sub>A</sub> ,	λ <sub>B</sub> ,			
1. Штукатурный слой (раствор цементно-песчаный), γ=1500 кг/м <sup>3</sup>	0,76	0,93	0,02	0,09	СП 50.13330.2012 Приложение Т
2. Утеплитель – минераловатная плита, γ=75 кг/м <sup>3</sup>	0,042	0,047	0,05	0,6	
3. Газобетон, γ=600 кг/м <sup>3</sup>	0,22	0,26	0,6	0,17	

Градусо-сутки отопительного периода по формуле (3):

$$ГСОП = (21 - (-6,6)) \cdot 234 = 6458 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут};$$



Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи по формуле (2):

$$R_0^{\text{TP}} = 0,00035 \cdot 6458 + 1,4 = 3,66 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется по формуле (1):

$$R_{\text{ст.жил.}}^{\text{норм}} = 3,66 \cdot 0,63 = 2,31 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} - \text{стены жилых комнат}$$

Поскольку населенный пункт г. Красноярск относится к сухой зоне влажности, при этом влажностный режим помещения - нормальный, то в соответствии с таб. 2 СП50.13330.2012 теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации А.

Сопротивление теплопередаче принятой конструкции по формуле (4) для условий эксплуатации А составит:

$$R_0^{\text{усл}} = 4,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче определим по формуле (11):

$$R_0^{\text{пр}} = 3,77 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Вывод: величина приведённого сопротивления теплопередаче  $R_0^{\text{пр}}$  больше требуемого  $R_0^{\text{норм}}$  ( $3,77 > 2,31$ ) следовательно представленная ограждающая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.

### **Расчет паропроницаемости**

Общее сопротивление паропроницаемости ограждающей конструкции  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$  определяется согласно формуле:

$$R_{o.n.} = 0,02/0,09 + 0,05/0,6 + 0,6/0,17 = 3,83 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха (13):

$$e_v = (55/100)2463 = 1355 \text{ Па}$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами:

$$e_{n.отр} = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/(273 + (-11,4))) = 261 \text{ Па}$$

для температуры  $t_{n.отр} = -11,4^\circ\text{C}$  согласно формуле (8.10) СП 50.13330.2012

Для каждого значения  $f_i(t_{m.y.})$  по формуле 12 и по таблице 11 СП 50.13330.2012 определим значение  $t_{m.y.}$  и температуру на границе слоев  $t_n$  и  $t_k$  определенную по формуле (8.10) СП 50.13330.2012.

Таблица 16 – Сводная таблица по расчету паропроницаемости для конструкции 1

№ слоя		$f_i(t_{m.y.}),$ К <sup>2</sup> /Па	$t_{m.y.},$ °C	$t_n,$ °C	$t_k,$ °C
1	Раствор цементно-песчаный	17,5	7,7	-11,1	-10,8
2	Минераловатные плиты	2106,6	-51	-10,8	-1,4
3	Ячеистый бетон	113,9	0,9	-1,4	20,1

Определим координаты плоскости максимального увлажнения  $x_{m.y.}$ :

$$x_{m.y.} = 0,536 \text{ м}$$

Определим паропроницаемость  $R_n$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации)

$$R_n = 3,15 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$$

Сопротивление паропрооницанию  $R_n$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг, должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропрооницанию, определяемых по формулам 14 и 15, расчет которых приведенных соответственно ниже:

$$R_{n1}^{TP} = 0,13 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

$$R_{n2}^{TP} = 0,11 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}.$$

Условие паропрооницаемости выполняются  $R_n > R_{n1}^{TP}$  (3.15 > 0.13),  $R_n > R_{n2}^{TP}$  (3.15 > 0.11)

Конструкция стены вариант 2 (400мм) – кладка из ячеистого бетона с применением отделки фасада из цементно-песчаного раствора. Схема части стеновой конструкции представлен на рисунке 16, характеристики материалов стеновой конструкции представлены в таблице 17.

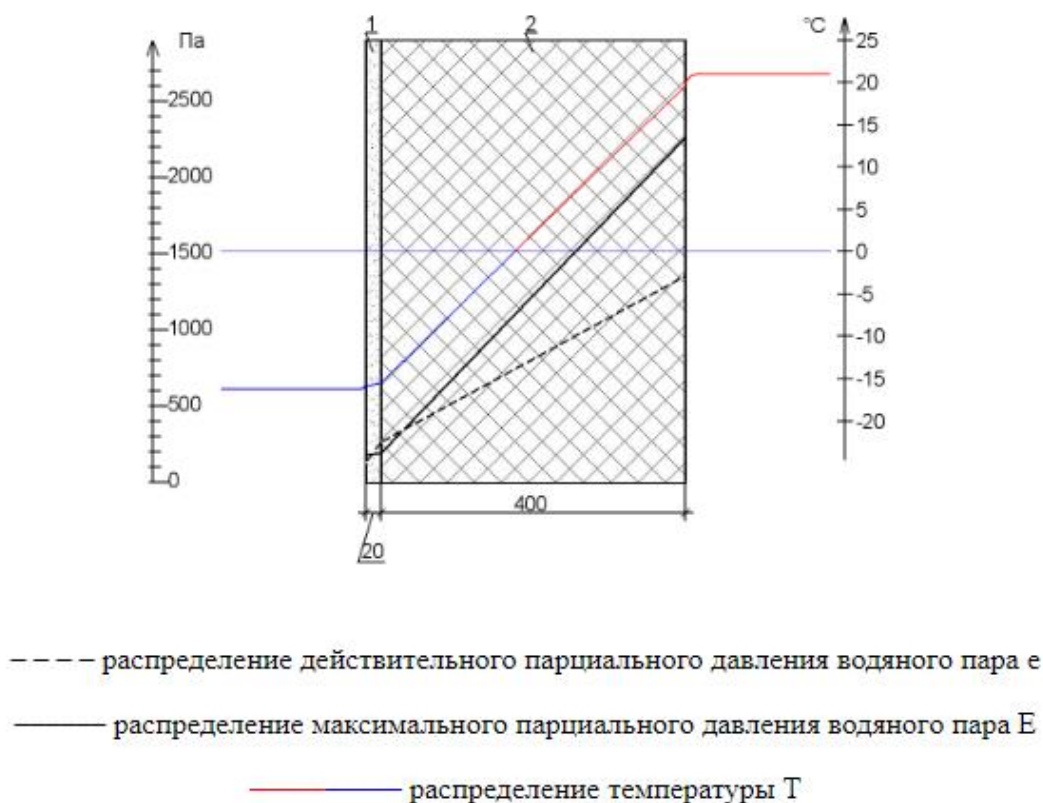


Рисунок 16 – Кривые распределения давления

Таблица 17 – Характеристики материалов стеновой конструкции

Материал	Теплопроводность , Вт/(м <sup>2</sup> °С)		Толщина слояδ, м.	Паропроницаемость μ, мг/(м·ч·Па)	Источник
	λ <sub>А</sub> ,	λ <sub>Б</sub> ,			
1. Штукатурный слой (раствор цементно-песчаный), γ=1500 кг/м <sup>3</sup>	0,76	0,93	0,02	0,09	СП 50.13330.2012 Приложение Т
2. Газобетон, γ=400 кг/м <sup>3</sup>	0,14	0,15	0,4	0,23	

### Расчет паропроницаемости

Определим паропроницаемость  $R_n$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг:

$$R_n = 1,74 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Сопротивление паропроницанию  $R_n$ , м<sup>2</sup>·ч·Па/мг, должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропроницанию, определяемых по формулам 8.1 и 8.2 СП 50.13330.2012, приведенных соответственно ниже:

$$R_{n1}^{TP} = 0,39 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

$$R_{n2}^{TP} = 0,68 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Условие паропроницаемости выполняются  $R_n > R_{n1}^{TP}$  (1,74 > 0,39),  $R_n > R_{n2}^{TP}$  (1,74 > 0,68)

### Вывод

Расчет по своду правил показал, что обе конструкции удовлетворяют требованиям СП 50.13330.2012 по паропроницанию.

### 3.4. Сравнение результатов

В таблице 18 и 19 сведены результаты изменения влажности по материалам в исследуемых конструкциях, сведены периоды по месяцам изменения влажности.

Таблица 18 – Изменение влажности в материалах конструкции 1 (600мм)

Материал	Увеличение влажности		Уменьшение влажности		Требования [29], %
	Месяц	%	Месяц	%	
Ячеистый бетон	Май Июнь Июль Август	0,39	Сентябрь Октябрь Ноябрь Декабрь Январь Февраль Март Апрель	-0,3	6
Тяжелый бетон	Март Апрель Июнь Июль Август	0,08	Сентябрь Октябрь Ноябрь Декабрь Январь Февраль	-0,05	2
Раствор цементно-песчаный	Май Июнь Июль Август	1,93	Февраль Март Апрель	-1,43	2
Вся конструкция	Май Июнь Июль Август  Ноябрь Декабрь	0,08	Январь Февраль Март Апрель  Сентябрь Октябрь	-0,07	-

Таблица 19 – Изменение влажности в материалах конструкции 2 (400мм)

Материал	Увеличение влажности		Уменьшение влажности		Требования [29], %
	Месяц	%	Месяц	%	
Ячеистый бетон	Июнь Июль Август Ноябрь Декабрь	1,25	Январь Февраль Март Апрель Май Сентябрь Октябрь	-1,88	6
Тяжелый бетон		0,29		-0,41	2
Раствор цементно-песчаный		1,8		-2,29	2
Дерево		0,62		-0,72	-
Вся конструкция		0,19		-0,3	-

- увеличение влажности в материалах по массе в исследуемых конструкциях, рассчитанные численным методом, не превышают предельно допустимые значения по требованиям СП 50.13330.2012.

- конструкция 2 (400мм) имеет выше значения увеличения влажности материалов, в сравнении с конструкцией 1 (600мм).

Для сравнения, в таблице 20 сведены результаты влагонакопления по месяцам при численном моделировании и свода правил [29]

Таблица 20 – Сравнение результатов численного моделирования с нормативной методикой

		Увеличение влажности	Уменьшение влажности
Численное моделирование	Конструкция 1 (600мм)	Июнь, июль, август <b>ноябрь, декабрь</b>	Январь, февраль, март, апрель, <b>май</b> <b>сентябрь, октябрь</b>
	Конструкция 2 (400мм)	Май, июнь, июль, август <b>ноябрь, декабрь</b>	Январь, февраль, март, апрель <b>сентябрь, октябрь</b>
Нормативная методика [30]		Январь, февраль, март, <b>ноябрь, декабрь</b>	<b>Май, июнь, июль, август, сентябрь</b>

По численным расчетам увеличение/уменьшение влажности происходят по месяцам, представленные в таблице 20.

Согласно СП 131.13330.2020 [30], установлены следующие месяца увеличения и уменьшения влажности при среднесуточной температурой воздуха – минус 6,5°С:

Увеличение влажности – зима (январь, февраль, март, ноябрь, декабрь);

уменьшение влажности – лето (май, июнь, июль, август, сентябрь).

Влажность в конструкции накапливается по-разному в зависимости от конструктивного исполнения. Сравнение показателей, представленных в таблице, свидетельствует о увеличении/уменьшении влажности в конструкции по месяцам, полученные численным методом и с нормативной методикой СП 131.13330.2020, как видно из таблицы 20 – имеются расхождения в периодах влагонакопления, полученных путем численного расчета с нормативной методикой СП [30]. Связано это с тем, что при расчете численным методом, конструкция исследуется в динамике изменения свойств материалов: сорбционной влажности и теплопроводности.

### **3.5. Расчёт затрат на отопление за расчетный период**

Для расчета тепловых потерь и затрат на отопление, взят фрагмент угла конструкции 1 (600мм). Данный угол включает в себя монолитный пояс и междуэтажное перекрытие. На рисунке 17 указана схема рассчитываемого фрагмента. Экономическая оценка рассчитана двумя способами: 1) численным методом с учетом сорбционной влажности материалов и влагонакопления; 2) по нормативной методике СП50.13330.2012.

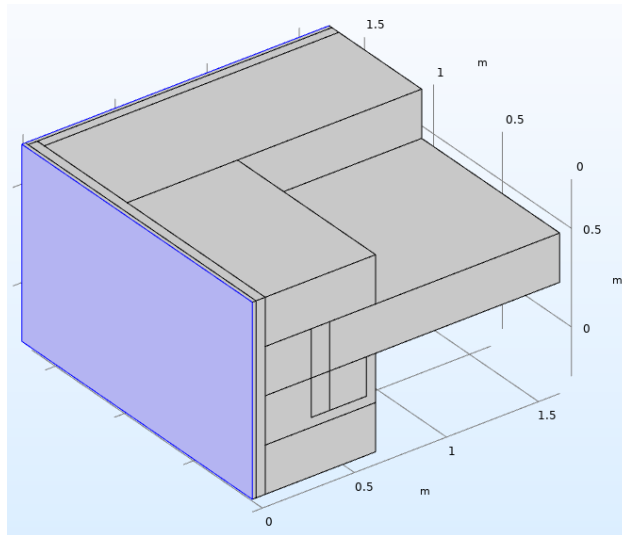


Рисунок 17 – Фрагмент рассчитываемой конструкции 1 (600мм) .

Количество тепла за отопительный период, Дж, рассчитаем как:

$$Q_{от} = Q \cdot 235 \cdot 24 \cdot 3600 , \quad (17)$$

где  $Q$  - тепловой поток исследуемого фрагмента Вт;

235 – продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2018 для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С;

24 – количество часов в сутках, ч;

3600 – количество секунд в часе, сек.

После того, как посчитано количество тепла за отопительный период, переводим Дж в Гкал (1 Дж = 2,388458966275E-10 Гкал).

Затраты на тепловые потери через наружные ограждающие конструкции здания определяем по формуле (10):

Тарифы на тепловую энергию принят по [35] 1689,05 руб./Гкал.



Для конструкции 1 (600мм) :

$$З = 0,019 \cdot 1689,05 = 32,1 \text{ руб}$$

$$З = 0,025 \cdot 1689,05 = 42,2 \text{ руб}$$

Результаты расчетов по теплотерям сведем в таблицу 21.

Результаты расчетов тепловых потерь конструкции, рассчитанным численным методом и по нормативной методике, сведены в таблицу 21.

Таблица 21 - Теплотери и затраты на отопление за расчетный период

Показатель	Численным методом	По нормативной методике
Тепловой поток, Вт	4,1	4,9
Общие теплотери здания за отопительный период, Гкал	0,019	0,025
Затраты на отопление, руб	32,1	42,2

При расчете экономической оценки по нормативной методике – сорбционная влажность материалов и изменение влажности материалов не учитывается.

В таблице 21 можно увидеть, что при расчете экономической оценки конструкции численным методом и с учетом сорбционной влажности материалов, получен результат более точный, в сравнении с расчетом по нормативной методике.

## **Заключение**

- Проанализированы результаты теоретических и практических исследований, нормативной базы по учету влагонакопления в конструкциях из ячеистого бетона;
- проведен численный расчет переноса тепла и влаги в стеновых ограждениях эксплуатируемых зданий;
- проанализировано сравнение результатов численного моделирования и тепловизионных исследований с нормативной методикой;
- определены зоны максимального увлажнения, периоды влагонакопления и сушки конструкций из ячеистого бетона на основе численного моделирования в нестационарных условиях эксплуатации;
- определена необходимость корректировки / уточнения нормативной методики;
- показано влияние учета влагонакопления в конструкции ячеистого бетона на его теплотехнические параметры, энергоэффективность и долговечность.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шакирова В.А. — Исследования структуры и свойств автоклавногогазобетона // Архитектура и дизайн. – 2020. – № 1. – С. 23 – 32.
2. Байер В.Е. Архитектурное материаловедение // Учебник для вузов. – М.: Архитектура-С. 2006. – 264с.
3. Материалы и изделия. Статьи. История развития и применения легких бетонов <https://forpsk.ru>
4. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. Монография / МеркинА.П. – Стройиздат, 1980. – 399с.
5. AliJ. HamadMaterials, Production, PropertiesandApplicationofAeratedLightweightConcrete: Review // InternationalJournal of Materials Science and Engineering Vol. 2, No. 2 December 2014
6. Невский В.А., Оглоблин М.И. «История развития газобетона»
7. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в россии: перспективы развития подотрасли // Строительные материалы. – 2011. – 44с.
8. ГОСТ 25485-2019 «Бетоны ячеистые. Общие технические условия»
9. ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения»
- 10.ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные»
- 11.ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент»
- 12.ГОСТ 9179-2018 «Известь строительная»
13. ГОСТ 5494-95 «Пудра алюминиевая»
14. ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов»
15. ГОСТ 3476-2019 «Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов»
16. ГОСТ 4013-2019 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов»
17. ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов»

18. Кенина К.А. Ячеистый бетон и его преимущества // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2017. – С. 3487-3490.

19. Данилов М.В., Лебедева М.В. Анализ экономической целесообразности применения изделий из ячеистого бетона // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. – 2015. – Т.18. – №3. – С. 63-67.

20. Крайнов Д.В., Садыков Р.А. Влияние влагосодержания на теплозащитные свойства ограждающей конструкции из ячеистого бетона // Вестник МГСУ. – 2011. – №3-1. – С. 404-410.

21. Алябьева Д.А. Армирование крупных панелей из автоклавного газобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №8 (35). – С. 24-35.

22. Сахаров Г.П., Стрельбицкий В.П. Материалы и технологии в малоэтажном строительстве // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Технологии. – 2012. - №5. – С. 22-27;

23. Анфиногенов В.В., Шенкман Р.И. Обзор изученности вопроса применения ячеистого бетона и технологии возведения зданий и сооружений с его использованием на территории России // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2019. - №2. – С. 118-127;

24. Фасадные материалы [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://myfarbe.ru/articles/otdelka-fasada-doma/> ;

25. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»;

26. СН 277-80 Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001;

27. СТО 501-52-01 «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации»;

28. Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения / Ассоциация НААГ. – Белгород, 2010;

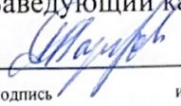
29. СП 50.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-02—2003 «Тепловая защита зданий». М. : Минрегион России, 2012. 100 с.;

30. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». Актуализированная редакция СНиП 23–01–99\*;

31. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные»;

32. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»;
33. СТО НААГ 3.1-2013 «Конструкции с применением автоклавного газобетона в строительстве зданий и сооружений. Правила проектирования и строительства»;
34. Kielsgaard K. «Sorptions isotherms a catalogue» // «Building materials laboratory the technical university of Denmark». 1986;
35. Приказ Министерства (Департамента) тарифной политики;
36. Шакирова В.А — Влагонакопление стеновой конструкции из ячеистого бетона в годовом цикле // Урбанистика. - 2021. - № 4. - С. 55 – 67;
37. Бизнес-план развития производства газобетона [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://teo.ru/g-beton.htm>.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-строительный институт  
институт  
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
\_\_\_\_\_ Р.А. Назиров  
подпись инициалы, фамилия  
« 16 » 06 2022г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Влияние условий эксплуатации и конструктивного исполнения наружных  
стен из ячеистого бетона на энергопотребление зданий»

08.04.01 «Строительство»

код и наименование направления

08.04.01.04 «Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение»

код и наименование магистерской программы


Руководитель

  
подпись, дата

профессор, дтн Р.А. Назиров

должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

16.06.22

В.А. Шакирова

инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата

К.Т.Н.

должность, ученая степень

А.Ф. Ромков

инициалы, фамилия

Красноярск 2022