

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Хакасский технический институт – филиал СФУ
институт

Строительство
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Шибаева
подпись инициалы, фамилия
«____» _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование строительства экспериментальных домов, в том числе по тех-
нологии 3D принтера
тема

08.04.01. Строительство
код и наименование направления

08.04.01.16 Промышленное и гражданское строительство: проектирование
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	к.т.н., доцент	Г. Н. Шибаева
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		Е. Н. Курышев
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	директор ООО «Са- янСтройПроект»	В. В. Паустов- ский
	подпись, дата	(должность, ученая степень)	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	к.т.н., доцент	Г.Н.Шибаева
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЗАВЕДУЮЩЕГО КАФЕДРОЙ О ДОПУСКЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ К ЗАЩИТЕ

ВУЗ (точное название) Хакасский технический институт – филиал

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Кафедра Строительство

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заведующего кафедрой Строительство

(наименование кафедры)

Шибяевой Галины Николаевны

(фамилия, имя, отчество заведующего кафедрой)

Рассмотрев магистерскую диссертацию студента группы № 30-3

Курышева Евгения Николаевича

(фамилия, имя, отчество студента)

Выполненную на тему Исследование строительства экспериментальных домов, в том числе по технологии 3D принтера

по реальному заказу _____

(указать заказчика, если имеется)

с использованием ЭВМ Microsoft Office 2019, Autodesk AutoCAD, SCAD Office 21, Yandex Browser

(название задачи, если имеется)

Положительные стороны работы выполнен анализ имеющихся составов бетонных смесей для строительного 3D-принтера, выполнен теплотехнический расчет ограждающих конструкций под климатические условия Республики Хакасии

в объеме 174 листа магистерской диссертации, отмечается, что работа выполнена в соответствии с установленными требованиями и допускается кафедрой к защите.

Зав. кафедрой _____

«___» _____ 2022 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Хакасский технический институт - филиал СФУ
институт

Строительство
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Шибаева
подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2022 г.

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

(бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации)

Студенту(ке) Курышеву Евгению Николаевичу

(фамилия, имя, отчество студента(ки))

Группа 30-3 Направление (специальность) 08.04.01 «Строительство»

(код)

08.04.01.16 «Промышленное и гражданское строительство: проектирование»

(наименование)

Исследование строительства экспериментальных домов, в том числе по тех-
нологии 3D принтера

(Тема выпускной квалификационной работы)

Утверждена приказом по университету № _____ от _____ г.

Руководитель ВКР Г. Н. Шибаева к.т.н. доцент. каф., ХТИ – филиал СФУ

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: научные статьи и исследования по строительным
аддитивным технологиям

Перечень разделов ВКР: 1 Литературный критический обзор научных исследований
по строительным аддитивным технологиям; 2 Сравнительный анализ основных верти-
кальных несущих конструкций на примере индивидуального 2-х этажного жилого на 6
человек: 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D-
принтере); 3 Организационно – технологические решения; 4 Экономическое обоснование
строительства домов с применением строительной 3D печати

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных
чертежей, плакатов, слайдов _____

Руководитель МД _____

(подпись)

Г.Н. Шибаева

(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению _____

(подпись)

Е. Н. Курышев

(инициалы и фамилия)

« _____ » _____ 2022 г.

АННОТАЦИЯ

на магистерскую диссертацию Курышева Евгения Николаевича

(фамилия, имя, отчество)

на тему: «Исследование строительства экспериментальных домов, в том числе по технологии 3D принтера»

Актуальность тематики и ее значимость: Актуальность строительства при помощи 3D-технологий обусловлена: высокой скоростью и точностью строительства; простотой эксплуатации; относительно невысокой стоимостью зданий и сооружений; безопасностью производства. Использование 3D-технологий дает возможность возводить здания практически любой формы.

Расчеты, проведенные в пояснительной записке: расчеты несущей способности напечатанных на строительном 3D принтере стен, теплотехнический расчет ограждающих конструкций напечатанных стен применительно Республики Хакасии.

Использование ЭВМ: Microsoft Office 2019, Autodesk AutoCAD, SCAD Office 21, Yandex Browser.

Качество оформления: Оформление текста диссертации соответствует стандарту университета СТО 4.2–07–2014. Текстовая часть и чертежи изготовлены в программных комплексах на ЭВМ. Распечатка выполнена на лазерном принтере с использованием цветной печати для большей наглядности.

Освещение результатов работы: Результаты исследований изложены последовательно, носят конкретный характер и освещают все этапы исследования.

Степень авторства: Содержание магистерской диссертации разработано автором самостоятельно. Все заимствованные фрагменты текста имеют ссылки на первоисточники.

Автор магистерской диссертации

(подпись)

Е. Н. Курышев

(инициалы, фамилия)

Руководитель работы

(подпись)

Г.Н. Шибаета

(инициалы, фамилия)

ABSTRACT

The Master's dissertation of Kuryshv Evgeny Nikolaevich

(first name, surname)

The theme: «Research on the construction of experimental houses, including using 3D printer technology»

The relevance of the work and its importance: The relevance of construction using 3D technologies is due to: high speed and accuracy of construction; ease of operation; relatively low cost of buildings and structures; safety of production. The use of 3D technologies makes it possible to erect buildings of almost any shape.

Calculations carried out in the explanatory note: calculations of the bearing capacity of walls printed on a construction 3D printer, thermal engineering calculation of enclosing structures of printed walls in relation to the Republic of Khakassia.

Usage of computer: Microsoft Office 2019, Autodesk AutoCAD, SCAD Office 21, Yandex Browser.

Quality of execution: The design of the thesis text complies with the university standard STO 4.2–07–2014. The text part and drawings were made in software packages on a computer. The printout was made on a laser printer using color printing for greater clarity.

Presentation of results: The results of the work carried out through the following are specific and cover all stages of scientific research.

Degree of the authorship: The content of the master's thesis was developed by the author independently. All borrowed fragments of the text have links to the original sources.

Author of the master's thesis

(signature)

E. N. Kuryshv

(initials, surname)

Thesis supervisor

(signature)

G.N. Shibaeva

(initials, surname)

Выпускная квалификационная работа магистра (магистерская диссертация) выполнена мной самостоятельно. Использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в _____ 1 _____ экземплярах.

Библиография _____ 118 _____ наименований.

Один экземпляр сдан на кафедру.

« _____ » _____ 2022 г.

(подпись)

Курьшев Евгений Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

РЕЦЕНЗИЯ
НА МАГИСТЕРСКУЮ ДИССЕРТАЦИЮ

Курышева Евгения Николаевича
Хакасского технического института – филиала СФУ
Кафедра «Строительство»

Выполнена магистерская диссертация на тему «Исследование строительства экспериментальных домов, в том числе по технологии 3D принтера»

Диссертация магистранта Курышева Евгения Николаевича выполнена в соответствии с логикой научного исследования. Выполнение данной работы подтверждает наличие у выпускника компетенций, требуемых для получения им степени магистра.

Магистерская диссертация является актуальной, что подтверждается востребованностью новых научных исследований в данной области.

Сформированы цель, задачи на основе анализа актуальности использования строительных аддитивных технологий. В сравнительном анализе основных вертикальных несущих конструкций на примере индивидуального 2–х этажного жилого на 6 человек было проведено сравнение двух вариантов остовов здания 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D–принтере). В ходе сравнения был выполнен расчет стен по первому и второму варианту остова здания. Было проведено исследование по изучению возможностей печати различных конструкций стен, напечатанных на строительном 3D принтере. Выполнен теплотехнический расчет ограждающих конструкций стены, напечатанной на строительном 3D принтере под климатические условия Республики Хакасии. В организационно – технологических решениях проведен анализ составов для строительного 3D–принтера из существующих. Рассмотрены добавки в составы улучшающие свойства бетона. Помимо этого, предложена технологическая карта на возведение вертикальных несущих конструкций с применением аддитивных технологий.

Замечания: не до конца проработано экономическое обоснование строительства домов с применением строительной 3D печати.

Магистрант Курышев Евгений Николаевич заслуживает присвоение звания магистра по направлению 08.04.01 «Строительство» магистерской программы «Промышленное и гражданское строительство: проектирование», а выпускная квалификационная работа оценки «Отлично».

Директор
ООО «СаянСтройПроект»

(подпись)

В. В. Паустовский
(инициалы, фамилия)

« ____ » _____ 2022 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследование строительства экспериментальных домов, в том числе по технологии 3D принтера» содержит 174 страницы текстового документа, 16 таблиц, 19 рисунков, 26 формул, 118 использованных источников.

Ключевые слова: СТРОИТЕЛЬНЫЙ 3D ПРИНТЕР, АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ, ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.

Объектом исследования являются элементы технологии 3D печати применительно к строительству в условиях Республики Хакасия.

Предметом исследования являются оценка возможности применения технологии строительной 3D печати под климатические условия Республики Хакасии, элементы технологии 3D печати, бетонная смесь для строительных 3D принтеров, составы и компоненты бетонных смесей для строительных 3D принтеров.

Целью исследования является оценка возможности строительства экспериментальных домов по технологии 3D принтера применительно к Республике Хакасии.

Основные задачи исследования являются:

1. Выполнить литературный анализ по истории развития строительной 3D-печати, технологии производства, их разновидностей и их конструктивных особенностей. Ознакомиться с научно-исследовательскими работами других авторов как отечественных, так и зарубежных;
2. Анализ основных вертикальных несущих конструкций на примере индивидуального 2-х этажного жилого на 6 человек: 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D-принтере);
3. Анализ имеющихся составов бетонных смесей для строительного 3D принтера и добавки к ним;

4. Оценить возможность применения технологии строительной 3D печати под климатические условия Республики Хакасии;

5. Сделать выводы.

Научной новизной данной работы является:

1. Предложены добавки улучшающие свойства бетонной смеси для строительного 3D принтера, которые могут применяться в климатических условиях Республики Хакасии;

2. Выявлена в ходе аналитического сравнения 3D печати стен оптимальная конструкция стены под климатические условия Республики Хакасии;

3. Выявлено что при сравнении технико-экономических показателей строительство домов с применением строительной 3D печати экономически целесообразней традиционного строительства.

Практическая значимость:

Полученные данные при анализе составов и различных добавок для строительного 3D принтера могут служить исходными данными для выведения более универсального состава, который подходил бы под разные климатические условия. Также результаты проделанной работы могут использоваться в дальнейшем в качестве анализа для написания и составления методических рекомендаций, составления нормативной и технической литературы для проектирования домов с применением строительной 3D печати.

Апробация работы:

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались в следующих конференциях:

1. В XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы – 2022» с темой доклада «Сравнение и подбор смесей для 3d-принтера» – заочное участие.

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Литературный критический обзор научных исследований по строительным аддитивным технологиям.....	9
1.1 История создания и развитие строительной 3D печати.....	27
1.2 Строительные аддитивные технологии	28
1.3 Основные компании на рынке строительной 3D печати	32
1.4 Выводы литературного критического обзора	40
2 Сравнительный анализ основных вертикальных несущих конструкций на примере индивидуального 2–х этажного жилого на 6 человек: 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D–принтере)	41
2.1 Архитектурные решения	41
2.2 Противопожарные мероприятия.....	46
2.3 Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций	47
2.4 Влияние аддитивных технологий на объемно-планировочные решения здания.....	49
2.5 Теплотехнический расчёт многослойной конструкции стены, напечатанной строительным 3D принтером	50
2.6 Описание и обоснование конструктивных решений здания	54
2.7 Расчет несущего кирпичного простенка.....	56
2.8 Расчет стены с применением аддитивных технологий в строительстве.....	63
2.9 Сравнение фундамента напечатанного на строительном 3D принтере и сборного ленточного фундамента	67
2.10 Выводы по сравнительному анализу основных вертикальных несущих конструкций на примере индивидуального 2–х этажного жилого на 6	

человек: 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D принтере).....	67
3 Организационно – технологические решения.....	69
3.1 Анализ применяемых составов для послойной укладки бетонной смеси строительным 3D–принтером	69
3.2 Подбор состава для строительного 3D–принтера.....	76
3.3 Технологическая карта на возведение вертикальных несущих конструкций с применением аддитивных технологий.....	77
3.4 Выводы по организационно – технологическим решениям	81
4 Экономическое обоснование строительства домов с применением строительной 3D печати	82
4.1 Локальный сметный расчет по 1 варианту (кирпичный остов здания)..	82
4.2 Локальный сметный расчет по 2 варианту (остов напечатанный на 3D принтере)	82
4.3 Выводы по данным локальным сметам	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	86
ПРИЛОЖЕНИЕ А	97
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ В	107
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	115

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Актуальность строительства при помощи 3D-технологий обусловлена низкой стоимостью жилья, безопасностью производства, а также скоростью возведения домов. Использование 3D-технологий дает возможность возводить здания практически любой формы.

Использование 3D-технологий в строительной сфере имеет ряд достоинств, основными из которых являются:

- высокая скорость и точность строительства;
- простота эксплуатации;
- относительно невысокая стоимость зданий и сооружений;
- минимизация использования ручного труда;
- повышение безопасности труда рабочих.

Прогресс в строительной сфере не стоит на месте, постоянно внедряются все более высокотехнологичные методики, к числу которых можно отнести 3D-печать зданий и сооружений. За короткий промежуток времени данная технология заинтересовала большое количество крупных строительных предприятий. Однако при ее применении приходится сталкиваться с рядом проблем:

1. Отсутствие нормативной и законодательной базы для строительства зданий с помощью 3D-принтера ограничивает его применение для массовой застройки, поэтому крупные строительные компании не приобретают строительные принтеры. На сегодняшний день данные устройства применяются в основном для малоэтажного и малогабаритного индивидуального строительства, а также для изготовления малых архитектурных форм.

2. Высокая стоимость оборудования для 3D-печати. По-настоящему инновационные технологии первоначально имеют достаточно высокую цену; через длительный промежуток времени, если технология доказывает свою практичность, она получает дальнейшее распространение и становится общедоступной с более приемлемой стоимостью.

3. Технология строительства с применением 3D-принтера требует особых характеристик строительной площадки (в частности, для укладки направляющих рельсов необходимы ровная площадка, а также непрерывный контроль за соблюдением их параллельности для обеспечения высокой точности печати).

4. Поскольку размеры принтера ограничены, ограничены и габариты строящегося здания.

5. Отсутствует универсальная смесь для печати по причине того, что разные производители применяют различные бетонные смеси, экспериментируя с составом компонентов и их соотношением.

6. Требования к составу бетонной смеси достаточно высокие, так как конструкция стены должна соответствовать условиям прочности и жесткости. Возникает противоречие: с одной стороны для того, чтобы рабочая смесь не застаивалась и не застывала в печатающей головке, применяют добавку-пластификатор, которая увеличивает сроки твердения, с другой стороны, необходимо обеспечить быстрое схватывание и твердение смеси для непрерывного нанесения последующих слоев.

7. Строительство с помощью данной технологии ограничивается теплым временем года, что затрудняет возведение зданий в северных областях. Для строительства в зимний период сооружают большие отапливаемые временные шатры.

Объектом исследования являются элементы технологии 3D печати применительно к строительству в условиях Республики Хакасия.

Предметом исследования являются оценка возможности применения технологии строительной 3D печати под климатические условия Республики Хакасии, элементы технологии 3D печати, бетонная смесь для строительных 3D принтеров, составы и компоненты бетонных смесей для строительных 3D принтеров.

Целью исследования является оценка возможности строительства экспериментальных домов по технологии 3D принтера применительно к Республике Хакасии.

Основные задачи исследования являются:

1. Выполнить литературный анализ по истории развития строительной 3D-печати, технологии производства, их разновидностей и их конструктивных особенностей. Ознакомиться с научно-исследовательскими работами других авторов как отечественных, так и зарубежных;
2. Анализ основных вертикальных несущих конструкций на примере индивидуального 2-х этажного жилого на 6 человек: 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D-принтере);
3. Анализ имеющихся составов бетонных смесей для строительного 3D принтера и добавки к ним;
4. Оценить возможность применения технологии строительной 3D печати под климатические условия Республики Хакасии;
5. Сделать выводы.

Научной новизной данной работы является:

1. Предложены добавки улучшающие свойства бетонной смеси для строительного 3D принтера, которые могут применяться в климатических условиях Республики Хакасии;
2. Выявлена в ходе аналитического сравнения 3D печати стен оптимальная конструкция стены под климатические условия Республики Хакасии;
3. Выявлено что при сравнении технико-экономических показателей строительство домов с применением строительной 3D печати экономически целесообразней традиционного строительства.

Практическая значимость:

Полученные данные при анализе составов и различных добавок для строительного 3D принтера могут служить исходными данными для выведения более универсального состава, который подходил бы под разные клима-

тические условия. Также результаты проделанной работы могут использоваться в дальнейшем в качестве анализа для написания и составления методических рекомендаций, составления нормативной и технической литературы для проектирования домов с применением строительной 3D печати.

Апробация работы:

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались в следующих конференциях:

1. В XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективны Свободный – 2022» с темой доклада «Сравнение и подбор смесей для 3d-принтера» – заочное участие.

1 Литературный критический обзор научных исследований по строительным аддитивным технологиям

Изучение аддитивных технологий в строительстве на сегодняшний день особенно актуально. Существует много современных работ как отечественных, так и зарубежных, изучающие применение аддитивных технологий в строительстве.

Анализ научно-исследовательских работ связанных с применением аддитивных технологий в строительстве, в том числе и по технологии 3д принтера, позволило подтвердить актуальность дальнейшего исследования, сформулировать правильно цель, задачи и научную новизну в дальнейших исследованиях. Часть рассмотренных основных научно-исследовательских работ, были показаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Теоретический обзор научной информации

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
1	Мухаметрахимов Р.Х, Вахитов И.М. / Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера / 2017	Инновационные технологии внедряются практически в каждую отрасль жизнедеятельности человечества, однако одна из таких крупных отраслей как строительное производство, на сегодняшний день отличается высокими трудозатратами и является наименее автоматизированной. Переход от классических технологий возведения зданий к аддитивным при помощи строительной 3D-печати может стать решением данной проблемы. В настоящий момент времени строительные 3D-принтеры активно внедряются в строительное производство в Китае, США, Нидерландах. На фоне стремительно развивающихся в этой сфере стран, Россия не является аутсайдером и на сегодняшний день имеет в своем числе ряд организаций разрабатывающих и выпускающих свою продукцию 3D-

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>принтеров (ООО «СпецАвиа», г. Ярославль; ООО «АписКор», г. Москва).</p> <p>В статье приводится анализ аддитивной технологии возведения зданий и сооружений. Рассмотрены история развития, способы 3D-печати и виды строительных 3D-принтеров. Дано краткое описание напечатанных ограждающих конструкций и используемых материалов.</p> <p>Значимость для строительной отрасли заключается в анализе достоинств и недостатков аддитивной технологии возведения зданий и сооружений, а также выявление перспектив и направлений ее развития [1].</p>
2	<p>Матюхина А.А., Никифорова Н.А., Никулина А.С., Дементьев Ю.А., Лесниченко Е.Н., Чернышева Н.В. / ПРЕИМУЩЕСТВА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ 3D СТРОИТЕЛЬСТВА</p>	<p>Благодаря универсальности принципов аддитивных технологий они уверенно вошли и в строительную отрасль. Это не удивительно, поскольку внедрение данной технологии в строительстве дает ряд преимуществ:</p> <ul style="list-style-type: none"> – минимальная численность обслуживающего персонала, как следствие – пониженная травмоопасность при строительстве; – количество отходов минимально — снижается нагрузка на окружающую среду, повышается экология строительства; – повышается архитектурная выразительность конструкций, понятие трудоемкости выполнения отдельных элементов становится неактуальным; – объемная конструкция имеет повышенную монолитность за счет непрерывного нанесения слоя за слоем; – высокая скорость возведения конструкций (китайской компанией WinSun возведено с помощью 3D-принтера 10 одноэтажных домов каждый площа-

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>дью 200 м2 за сутки).</p> <p>Для успешного применения АМ-технологии в строительстве необходимо применять последние достижения в трех основных областях: информационные технологии (программное обеспечение процесса), машиностроение и автоматизация (конструкция, узлы и агрегаты самого 3D-принтера) и материаловедческая (рецептура и свойства материала, в данном случае – бетона, из которого будет возведен будущий объект).</p> <p>Специалисты подсчитали, что дом, построенный по технологии 3Д печати, сданный под ключ, будет стоить порядка 20 000 долларов, что вдвое меньше аналогичного строения из кирпича. При этом качество строительства получается на порядок выше. Данная технология позволяет получить идеальную геометрию строения: проёмы ровные, нет отклонений ни в плоскости стен, ни по углам. Соответственно, поверхности не надо дорабатывать – а это тоже экономия.</p> <p>Сегодня трёхмерные строительные принтеры есть в продаже. Небольшие модели для печатания МАФ и отдельных малогабаритных конструкций, стоит порядка 9000 долларов. Устройство для крупных конструкций и монолитных зданий, стоит уже в пределах 20000-28000 долларов. Фактически – стоимость одного готового к эксплуатации дома. Учитывая, себестоимость построек и сроки их возведения, срок окупаемости такого принтера составит максимум 18 месяцев [2].</p>
3	Тюнина Е.О., Денисова Ю.В. / СТРОИТЕЛЬНЫЕ	3D принтер – это устройство для печати трехмерных физических моделей, которое создает физические

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
	3D ПРИНТЕРЫ	<p>объекты путем последовательного наложения слоев. Данная область активно развивается, и каждый год на свет появляются удивительные принтеры с невероятными возможностями. Такие технологии позволяют застраивать территории в рекордно короткие сроки, создавая улицы и кварталы за несколько месяцев. Такие принтеры имеют внушительные размеры и высокую стоимость. Они работают с различными строительными материалами, такими как цемент, гипс и другие. На данный момент строительный 3D принтер находится в стадии разработки и те модели, которые имеются в настоящее время, являются экспериментальными моделями. Однако, не смотря на это, такие устройства имеют достаточно большие перспективы.</p> <p>Строительный принтер ничем не отличается от обычного устройства для трехмерной печати. Разница только в используемых материалах, ну и разумеется, в размерах. Для создания здания в натуральную величину принтер должен иметь просто огромные размеры. Современные модели 3D принтеров размещаются на рельсах по обе стороны здания. На сегодняшний день максимальная высота печатающей головки достигает 6 метров, что равняется высоте обычного двухэтажного дома. Для транспортировки принтера необходим специальный тягач, а для установки на рельсы в месте применения потребуется кран.</p> <p>Для того, чтобы построить здание при помощи строительного 3D принтера в первую очередь необходимо подготовить площадку, залить фундамент будущего здания и разравнять окружающую местность,</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>чтобы сам принтер стоял ровно. Для строительства требуются специально обученные и опытные люди, которые будут контролировать весь процесс. Таким образом, технологии 3D-печати завоевывают мир и это настоящая научно-техническая революция, происходящая на наших глазах. В основу работы 3D-принтера положен основной принцип действия приспособлений для печати на бумаге, пленке или другом носителе – послойное нанесение расходного материала. Строительные 3D принтеры только начинают завоевывать мировой рынок. Как в свое время изменили мир компьютеры, так и появление этого оборудования знаменует новый виток в развитии. Строительство сегодня считается одним из наиболее перспективных областей применения такого вида оборудования. Модели строительных принтеров – большие конструкции, которые спроектированы с учетом принципов работы строительных кранов. Предполагается, что в ближайшие пару лет область производства таких аппаратов, использующих различное сырье для строительства, которые позволят возводить целые поселки в течение короткого времени, расширится настолько, что они обеспечат реальную революцию в сфере строительства. Кроме экономического фактора, важного, например, для развивающихся стран, такое оборудование позволит избежать выполнения человеком опасных и сложных работ, позволит создать все условия для обеспечения безопасности окружающей среды [3].</p>
4	Крушельницкая Е.А., Огнев Н.В., Чжан	Большинство строительных смесей для строительных 3D-принтеров на цементной основе. Обычная

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
	Цзяньдун, Се Ди, Сулейманова Л.А. / МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ И ВАРИАНТЫ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЗДАНИЙ	<p>цементная смесь применяется для печати малых архитектурных форм и неответственных конструкций. Мелкодисперсная цементная смесь позволяет печатать объекты сложной конфигурации, в том числе с нависанием, высокопрочная - для печати опалубок стен зданий и прочих конструкций, эксплуатируемых при температуре от -50 до +50, в условиях повышенной влажности и т.д. Стеклофибробетон - для печати стен и малых архитектурных форм. Коалиновая смесь для печати элементов печей, эксплуатируемых в условиях высоких температур.</p> <p>В ближайшие годы планируется применение геоплимерного бетона, время набора максимальной прочности которого значительно меньше, чем у обычных бетонов. Достаточная прочность достигается на вторые сутки, а набор максимального значения происходит в срок не более недели, тогда как бетону на основе цемента для этого необходимо до 30 дней. Использование зольной пыли позволило получить материал, не уступающий по свойствам портландцементу, а по некоторым параметрам превосходящий его. В частности – высокая прочность, которая сравнима с природным гранитом, меньшая степень усадки, низкая проницаемость, высокая стойкость материала к воздействию высокой температуры и коррозии.</p> <p>Процесс печати стен здания похож на печать опалубки, лишь с той разницей, что стены имеют внутреннюю перемычку. Если того требует проект здания одновременно с печатью стены печатается опалубка железобетонного каркаса здания для по-</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>следующего армирования и заливки тяжёлым бетоном – в них устанавливаются пластиковые шаблоны с промежутками в 60 см. для установки арматуры. Также устанавливается горизонтальное армирование для последующей увязки с колоннами. На протяжении всей печати так же укладываются горизонтальные стяжки, которые укрепляют фасадный слой, образующий камеру для утепления конструкции. Класс прочности бетона, применяемого для печати, по результатам испытаний соответствует марке В20.</p> <p>Успешная реализация представленных проектов жилых домов открывает широкие перспективы развития аддитивных технологий в сфере строительства. Развитие аддитивных технологий, конструкции 3D-принтеров, подбор оптимальных составов материала для печати, использование средств дополненной реальности и проектирование трехмерной модели в BIM-среде позволит существенно автоматизировать малоэтажное строительство, сократить число рабочих на строительной площадке, а также число процессов, требующих вмешательства человека. Дальнейшее совершенствование данных технологий приведет к снижению стоимости строительства, сделав новое жилье более доступным для населения [4].</p>
5	Панеш З.А., Руденко О.Н. / ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ПРИНТЕРА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	Прогресс в любой отрасли хозяйства невозможен без внедрения инновационных технологий. Строительство всегда было отраслью, где применяются самые передовые технологии, в настоящее время такой технологией является строительство при помощи 3D-принтера.

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>Что же из себя представляет 3D-принтер? 3D-принтер – это устройство, использующее метод послойного создания объекта. В центре строительной площадки располагают сам принтер, который может перемещаться по специальным рельсам вокруг возводимого объекта. Высота строительного принтера обычно превышает высоту строящегося здания. «Картриджами» для него является бетонная смесь особого состава. Она выходит из сопла принтера, подобно тому, как зубная паста выдавливается из тюбика. Подаваемый бетон, согласно компьютерной программе, слой за слоем формирует заданную конструкцию. Существует два основных способа использования 3D-принтеров:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Используется в качестве изготовления стройматериалов и конструкций. 2. Второй способ, самый передовой, по мнению большинства инженеров, – это использование 3D-принтеров для строительства здания в целом. <p>Прогрессивная технология существенно влияет на состояние строительной отрасли, а именно:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повышает гибкость производства; – снижает себестоимость продукции, особенно в мелкосерийном производстве; – создание продукции, ее выход на рынок происходит в кратчайшие сроки. <p>Стоит отметить, что для того, чтобы построить здание при помощи строительного 3D-принтера в первую очередь необходимо подготовить площадку, залить фундамент будущего здания и разровнять окружающую местность, чтобы сам принтер стоял максимального ровно. Только после этого можно</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>устанавливать сам принтер.</p> <p>Примером строительства на основе данного устройства является известное офисное здание в Дубае. Оно было построено в 2016 году по специальной программе Правительства ОАЭ. По заявлениям руководства страны, это первое в мире здание, полностью созданное на 3D-принтере. Процесс строительства офиса занял 17 дней и стоил \$140 000. Части 3D-дома были напечатаны на заводах китайской компании WinSun и отправлены в Дубай, где произошла окончательная сборка [5].</p>
6	<p>Курбатов В. Л., Дайронас М. В., Зайченко Марина / ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ / 2020</p>	<p>Последние десятилетия не малый интерес проявляется к 3D-печати зданий, сооружений ил их отдельным частям.</p> <p>На сегодняшний день, такой вид хозяйственной деятельности, как строительство до конца не автоматизировано. Применение строительного 3D-принтера дало возможность формирования конструкций малых размеров (строительных блоков, малых элементов ландшафтного дизайна и интерьера помещений), а также возведения ограждающих конструкций зданий. Эта технология позволяет возводить более сложные объекты с меньшими временными, материальными и трудовыми затратами.</p> <p>На данный момент строительство с применением 3D-принтеров уже привлекло внимание многие крупные строительные компании. Данная технология позволяет решить такие разноплановые задачи, как вторичная переработка строительных отходов; создание технологий «безфундаментной» печати; строительство домов в местностях, пострадавших от стихийных бедствий и требующих возведение боль-</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>шой площади жилья за короткий период времени; производство и совершенствование оборудования. Тем не менее, необходимы дальнейшие исследования и развитие, что в дальнейшем может способствовать расширению спектра возводимых конструкций, улучшит качество строительной продукции и обозначит необходимость в разработке нормативной документации, которая урегулирует. Однако примеры успешного применения 3D-печать при выполненных малых архитектурных форм и объектов индивидуального жилищного строительства уже имеют место быть.</p> <p>Требования к материалам, используемым в качестве «чернил» для строительной 3D-печати методом послойного экструдирования Существенную роль в качестве технологии строительной 3D-печати играет состав строительных «чернил» (сырьевой смеси). В ее основу могут входить такие материалы как портландцемент, гипс, смешанные вяжущие модифицированные активными минеральными и химическими добавками – цементно-волокнистые (фиброцементные), гипсоволокнистые, гипсоцементно-волокнистые и др. Основное требование, предъявляемое к свойствам сырьевой смеси — это способность относительно быстро набирать прочность при замедленной кинетике начального структурообразования. Данное требование обеспечивает возможность бездефектной послойной укладки.</p> <p>Кроме того, сырьевая смесь должна обладать тиксотропными и адгезионными свойствами, быть удобоукладываемой, а также при этом не расте-</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>каться под воздействием верхних слоев и иметь невысокие усадочные деформации при твердении.</p> <p>Повышение физико-механических характеристик затвердевшего материала, снижение усадочных деформаций, повышение показателей трещиностойкости достигается также за счет дисперсного армирования сырьевой смеси. Добавление в состав активных химических и минеральных добавок способствует урегулированию реологических свойств смесей.</p> <p>Расходными материалами строительных 3D-принтеров могут быть как смеси с готовыми сертифицированными составами, так и приготовленные самостоятельно из доступных компонентов, таких как цемент (портландцемент), песок (двуокись кремния, оливин, хромит, циркон, глинозем, муллит, кварцевое стекло, шамот), гипс, модифицирующие добавки, пластификаторы, антизамерзающие добавки, фиброволокна, ускорители (замедлители) отверждения и вода.</p> <p>Обработка и применение специальных добавок позволяют получить относительно недорогие материалы для их использования в 3D-печати применительно к региону.</p> <p>В последнее время одними из наиболее часто применяемых материалов для аддитивных технологий в строительстве являются геопалимерные смеси и искусственная глина. Геопалимерные смеси были разработаны компанией Rensa в целях получения экологически чистого бетона. Создателем геопалимерной технологии был французский химик Жозеф Давидович. Данная технология была изобре-</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>на в 1978 году и сейчас продолжает изучаться в созданном им же Институте геополимеров (Institut Geopolymerie). Благодаря своей структуре геополимеры обладают такими свойствами, как большая водостойкость, устойчивость к огню, агрессивной среде и множеству растворителей. Эти особенности позволяют широко применять геополимеры в строительстве. Так, компанией Wagners был построен аэропорт городе Брисбен (Австралия) в 2014 году. Для Квинслендского университета и з геополимеров были изготовлены плиты-перекрытия. Компания Milliken восстановила старые сточные трубы, защитив их от внешних воздействий с помощью разбрызгивания геополимерной пены по внутренней поверхности.</p> <p>Одно из первых зданий офисного типа, возведенное при помощи использования технологий 3D-печати. Его строительство инициировал Dubai Future Foundation (Дубайский фонд будущего), чья штаб-квартира теперь здесь и располагается.</p> <p>На печать ушло около трех недель, еще 2 дня ушло на оформление офиса внутри. На строительных работах было занято 19 человек: один следил за 3D-принтером, остальные собирали дом из напечатанных элементов и проводили коммуникации.</p> <p>Анализируя все выше изложенное можно сделать вывод о том, что 3D-печать в строительстве ожидает далекое и весьма перспективное будущее [6]</p>
7	О.Л. Фиговский, А.З. Штейнбок, О.Б. Кукина / ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬ-	Технология 3D печатания. Для возведения малоэтажных домов довольно перспективной считается технология 3D печати. Технология, методика и организация отработаны в различных сферах, с использо-

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
	СТВЕ	<p>ванием различных материалов, например, машиностроение, автомобилестроение, медицина, дизайн.</p> <p>Отметим, что такая технология позволяет использовать переработанный строительный материал и таким образом экономить 30-60% строительных материалов. В дополнение, значительно сокращается время строительства (до 70%).</p> <p>На сегодня, главные недостатки: громоздкость и неудобство эксплуатации машин для 3D-печати зданий, проблема армирования, трудности в высотном строительстве, технические проблемы на холмистой местности, сложности с печатью горизонтальных элементов (перекрытия и кровли), отделочные работы.</p> <p>Основные аспекты использования 3DP</p> <p>Материалы для 3D-печати и их свойства представляют собой значительный исследовательский интерес.</p> <p>Строительные материалы, напечатанные на 3D-принтере, должны обеспечить лучшую пригодность для печати, в том числе способность перекачивания, экструдированность, возможность сборки.</p> <p>Применительно к строительной отрасли обычно используется печать на бетоне. Но в последнее время разрабатываются и другие возможности.</p> <p>Другими словами, 3DP – это попытка реализовать цифровое производство на практике, даёт возможность прямого перехода от проектирования / моделирования зданий (BIM) к производству 3DP печати.</p> <p>Техническая составляющая процесса перехода от BIM к печати уже в основном автоматизирована.</p> <p>Некоторые преимущества 3D-печати</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>Использование дистанционно управляемых роботов позволит SCS JV печатать конструкции с помощью 3D на месте, избавляясь от необходимости транспортировать по дороге. Технология 3D-печати также позволяет возводить конструкции в ограниченном пространстве, а это означает, что сложные и дорогостоящие логистические операции больше не потребуются.</p> <p>Поскольку работы выполняются на месте роботами для 3D-печати, также нет необходимости приостанавливать работы, чтобы обеспечить безопасность людей. Все это ускорит время строительства и вызовет меньшие неудобства для местного населения.</p> <p>Более того, железобетонные конструкции построены с использованием укрепляющей внутренней решетки, которая снижает количество необходимого бетона, а также производит меньше отходов [7].</p> <p>Наконец, бетон, используемый для процесса 3D-печати, укреплен графеном, самым прочным материалом на планете. Микроскопические нити графена толщиной всего в несколько атомов заменяют стальные стержни, что упрощает строительство структур, в то же время придает им большую прочность и меньший углеродный след. Инновация с графеном была разработана партнером SCS JV в Вустершире, Change Maker 3D.</p>
8	<p>Д.А. Лунева, Е.О. Кожевникова, С.В. Калошина / ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ</p>	<p>Современные инновационные 3D-технологии развиваются достаточно быстро и все больше внедряются в различные сферы деятельности человека. В последнее время значительное внимание уделяется такой разновидности 3D-технологий, как печать объектов на 3D-принтере, в которой используется</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
	РАЗВИТИЯ / 2017	<p>метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. 3D-принтеры применяются во многих отраслях промышленности: медицине, машиностроении, литейном производстве, радиотехнике и электронике. Их основными преимуществами являются создание объектов с высокой точностью и скоростью без использования ручного труда, а также возможность создания предметов и конструкций по 3D-модели. Строительная область не стала исключением в отношении применения 3D-печати. В настоящее время существуют технологии и устройства для печати как малых архитектурных форм, так и зданий в целом.</p> <p>В данной статье рассматриваются различные технологии, применяемые в 3D-печати, их преимущества и недостатки, а также области применения и перспективы развития в строительной области. Дано краткое описание устройства и принципа работы 3D-принтера. Рассмотрены основные виды материалов и их комбинации, а также виды армирования конструкций, используемые при 3D-печати зданий и сооружений. Описаны разработки зарубежных компаний, в строительстве домов с помощью 3D-печати. Выявлены основные проблемы практического применения 3D-печати. Рассмотрены направления развития и совершенствования данной технологии.</p> <p>На сегодняшний день строительные технологии непрерывно развиваются. В основном преобразования направлены на сокращение сроков строительства, увеличение периода эксплуатации конструкций, экономию трудовых затрат и рабочей силы,</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>а также извлечение большей экономической выгоды. Немало внимания отводится обеспечению сохранности окружающей среды и повышению безопасности жизнедеятельности на самом производстве.</p> <p>Новой в сфере строительства является технология 3D-печати. С ее помощью появилась возможность не только создания различных архитектурных конструкций, но и возведения целых зданий и сооружений.</p> <p>3D-печать относится к аддитивному производству, иными словами, технология подразумевает создание объектов путем нанесения последовательных слоев материала. Модели, изготовленные таким образом, могут применяться на любом производственном этапе – как для изготовления опытных образцов (быстрое прототипирование), так и в качестве готовых изделий (быстрое производство).</p> <p>Приведенные выше примеры различных зарубежных технологий 3D-печати в строительстве говорят о заинтересованности ученых всех стран в развитии данного метода строительства. Технология 3D-печати зданий и сооружений, несомненно, является инновационной и весьма перспективной, однако при ее применении приходится сталкиваться с рядом проблем:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие нормативной и законодательной базы для строительства зданий с помощью 3D-принтера ограничивает его применение для массовой застройки, поэтому крупные строительные компании не приобретают строительные принтеры. На сегодняшний день данные устройства применяются в

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>основном для малоэтажного и малогабаритного индивидуального строительства, а также для изготовления малых архитектурных форм.</p> <p>2. Высокая стоимость оборудования для 3D-печати. По-настоящему инновационные технологии первоначально имеют достаточно высокую цену; через длительный промежуток времени, если технология доказывает свою практичность, она получает дальнейшее распространение и становится общедоступной с более приемлемой стоимостью.</p> <p>3. Технология строительства с применением 3D-принтера требует особых характеристик строительной площадки (в частности, для укладки направляющих рельсов необходимы ровная площадка, а также непрерывный контроль за соблюдением их параллельности для обеспечения высокой точности печати).</p> <p>4. Поскольку размеры принтера ограничены, ограничены и габариты строящегося здания.</p> <p>5. Отсутствует универсальная смесь для печати по причине того, что разные производители применяют различные бетонные смеси, экспериментируя с составом компонентов и их соотношением.</p> <p>6. Требования к составу бетонной смеси достаточно высокие, так как конструкция стены должна соответствовать условиям прочности и жесткости. Возникает противоречие: с одной стороны, для того, чтобы рабочая смесь не застаивалась и не застывала в печатающей головке, применяют добавку-пластификатор, которая увеличивает сроки твердения, с другой стороны, необходимо обеспечить быстрое схватывание и твердение смеси для непре-</p>

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Авторы / название статьи / год публикации	Краткое описание
		<p>рывного нанесения последующих слоев.</p> <p>7. Строительство с помощью данной технологии ограничивается теплым временем года, что затрудняет возведение зданий в северных областях. Для строительства в зимний период сооружают большие отапливаемые временные шатры.</p> <p>Несмотря на такое количество проблем, существующих на сегодняшний день, использование 3D-технологий в строительной сфере имеет ряд достоинств, основными из которых являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> – высокая скорость и точность строительства; – простота эксплуатации; – относительно невысокая стоимость зданий и сооружений; – минимизация использования ручного труда; – повышение безопасности труда рабочих. <p>Прогресс в строительной сфере не стоит на месте, постоянно внедряются все более высокотехнологичные методики, к числу которых можно отнести 3D-печать зданий и сооружений. За короткий промежуток времени данная технология заинтересовала большое количество крупных строительных предприятий. Однако следует отметить, что перспектива развития 3D-печати в строительстве, а также ее внедрение в массовое производство возможны только при решении ряда существующих проблем, указанных в данной статье [8].</p>

Остальные не вошедшие в таблицу 1.1 научно-исследовательские работы и патенты, были рассмотрены и указаны в списке литературных источников [9-105].

1.1 История создания и развитие строительной 3D печати

Рост автоматизации производства берет своё начало в XX веке и за последнее время растет во многих направлениях. Основным препятствием для автоматизации в строительной отрасли является конструктивная составляющая, так как реализуется меньшее количество выходной продукции в сравнении со всеми другими сферами промышленной индустрии, также большую роль играет рост стоимости оборудования для изготовления готовой продукции, помимо всего прочего данная технология вводит большое количество ограничений в материалах применяемых для автоматизации производства [97]. На сегодняшний день строительная отрасль упирается в целый ряд проблем: достаточно низкая трудовая производительность, крайне большая статистика несчастных случаев на строительных площадках, нехватка квалифицированной рабочей силы [98]. Очевидно, что строительная отрасль занимает лидирующие позиции среди потребителей невозобновляемых ресурсов и природных материалов по всему миру [99].

Аддитивные технологии расширили горизонты для многих динамично развивающихся направлений производства. 3D-печать позволила недавно разработанным в лабораторных условиях технологиям выйти на новый уровень. Аддитивные технологии (от английского Additive manufacturing) – обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным цифровой модели (или CAD-модели) методом добавления материала [100]. Технологии послойного синтеза могут стать прорывом для конструкций, изготавливаемых из материалов на основе цемента [101].

Термину аддитивные технологии уже более 2-х десятков лет. Еще в 1986 г. был запатентован аппарат для создания трехмерных объектов с помощью стереолитографии [102]. На сегодняшний день аддитивные технологии применяются во многих отраслях производства от машиностроения до кулинарии [14,103-105]. Оценки уровня развития послойного синтеза за последнее десятилетия даны в трудах многих исследователей [15-17].

Существенным препятствием для широкого внедрения в нашей стране аддитивных технологий является отсутствие базы национальных стандартов для аддитивного производства, в частности, по общей и специальной квалификации материалов, конструкциям, технологиям, оборудованию, контролю качества, контролю свойств и порядку применения изделий аддитивного производства. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии выпустило приказ от 1 сентября 2015 г. № 1013 "О создании технического комитета по стандартизации "Аддитивные технологии" [5]. Основным тезисом является концентрация и координация усилий в направлении создания комплексного подхода развития аддитивных технологий, включая соответствующие системы национальных стандартов (классификацию материалов, требования к качеству исходного сырья, конструкции, технологии, оборудованию, унификацию форматов компьютерных моделей).

Для применения аддитивных технологий в строительстве требуются разработки и изучение новых материалов, используемых в 3D-печати. Однако многие разработчики сталкиваются с проблемой подбора материалов. Фундаментальные соотношения концепции индустрии 4.0 (конструкция – материал – технология) еще не интегрированы в строительную сферу. В данном отчете рассмотрен мировой опыт исследования и применения строительных материалов на основе бетонных смесей, использующихся для строительных аддитивных технологий, а также свойства этих смесей и отдельных компонентов.

1.2 Строительные аддитивные технологии

В настоящее время наблюдается отказ от общепринятых концепций в области строительства, и современные направления ориентированы именно на аддитивные технологии возведения [18]. Научные изыскания, направленные на решение проблем строительной 3D-печати, ведутся во многих институтах по всему миру. Имеется ряд патентов на строительные смеси для прин-

теров [19-22]. Помимо материалов, патентуются так же принтеры и технологии печати [23-25].

На сегодняшний день, аддитивные технологии, прошедшие путь от 3D-печати макетов и быстрого прототипирования к изготовлению готовых изделий для различных отраслей промышленности, привлекают все больше и больше инвестиций. Рост интереса к аддитивным технологиям обуславливается множеством факторов: высокий уровень автоматизации производства, улучшение качества продукции, ускорение процессов создания, возможность оптимизации САД моделей, уменьшение отходов производства [26-30]. Данные факторы являются основой для успешного перехода к концепции «цифровых фабрик» будущего [31, 32]. Эта революция предусматривает цифровую технологию проектирования, изготовления, испытания, а также аддитивное производство деталей и изделий в целом.

По методам формирования слоя различают два типа аддитивных технологий: Bed Deposition и Direct Deposition [7].

Bed Deposition – класс технологий, при котором на рабочее пространство наносится слой порошкового материала. Формирование изделия происходит послойно с помощью источника тепла: лазера (SLM), электронного луча (EBM) или света (DLP, SLA) или вспомогательного вещества (Binder Jetting), в соответствии с текущим сечением САД модели. Остатки порошка удаляются, рабочая платформа смещается и процесс повторяется [33].

Direct Deposition – способ формирования, при котором материал подается непосредственно в место построения в соответствии с САД моделью [33].

Как отмечено в [34], изготовление опалубки составляет от 35 до 60 % от общей стоимости бетонных конструкций. Возможность строительства бетонных конструкций без опалубки является важным преимуществом с точки зрения снижения затрат, скорости производства и архитектурной свободы, а также облегчения установки инженерных коммуникаций [35,36]. Аддитивные технологии относятся к классу, так называемых зелёных технологий, так

как предполагают почти безотходное производство. Высокая автоматизация и роботизация процесса позволяет реализовывать проекты в агрессивных средах [37], не подвергая опасности здоровье персонала.

Contour Crafting (CC) – одна из аддитивных строительных технологий, способная применяться в строительстве крупномасштабных объектов (Рисунок 1.1) [40].

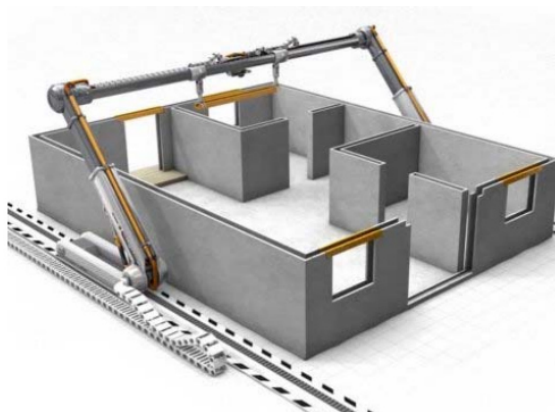


Рисунок 1.1–Установка Contour crafting, США

Другая технология, которая получила название Concrete Printing (CP). Данная технология была впервые представлена в 2009 году в университете Лафборо Ричардом Басуэллом и его коллегами для демонстрации ее потенциальных возможностей [44]. Данный способ аналогичен технологии CC, то есть основан на послойном экструдировании строительной смеси. Основным отличием от CC является то, что в методе CP на экструдере отсутствуют шпатели (Рисунок 1.2), что дает возможность выполнять еще более геометрически сложные контуры.[46] Именно благодаря этой особенности данный метод выглядит самым перспективным в строительстве, так как создание зданий и сооружений уникальных форм становится все более приоритетным и востребованным направлением в данной сфере [47]. Недостатком является тот факт, что из-за отсутствия шпателей на экструдере появляется необходимость обработки поверхности напечатанного сооружения [48].



Рисунок 1.2–Процесс построения по технологии Concrete Printing

Процесс печати с использованием данной технологии условно делится на 3 этапа:

- создание 3D-модели объекта,
- построение объекта,
- финальная обработка объекта.

В отличие от методов, описанных выше, экструдер подает не готовую строительную смесь, а клеящее вещество на песок или другой материал, представляющий собой порошок. На этапе печати объекта слой порошка толщиной 5-10 мм равномерно наносится на область печати. Затем, на эту поверхность подается клеящее вещество [43]. После этого наносится еще один слой порошка необходимой толщины, и процесс повторяется до завершения печати. В конце слой порошка, который являлся опорным, удаляется, а поверхность объекта шлифуется и полируется. Таким образом, процесс практически идентичен технологии Binder Jetting [49]. Отличным примером возможностей технологии DShape служит скульптура “Радиолярия”, напечатанная еще в 2009 году (Рисунок 1.3) [50]. Материалом для скульптуры послужил искусственный песчаник, а в качестве клеящего вещества выступал раствор с добавлением оксида магния [51]. Полученный материал оказался достаточно прочным, чтобы выдержать вес всей конструкции и был абсолютно безвреден для окружающей среды [52].



Рисунок 1.3—Скульптура “Радиолярия”, изготовленная по технологии D-Shape

Благодаря тому, что все материалы являются натуральными и подвергаются лишь незначительной обработке, конечный продукт печати выглядит очень естественно [53]. На данный момент рассматривается возможность использования данной технологии для печати из лунного камня – реголита. Ожидается, что при положительных результатах исследований в этой области технологию D-Shape можно будет использовать для печати сооружений в космосе [54].

Основным недостатком для применения данной технологии именно в строительстве является то, что она позволяет печатать только объекты небольших размеров. Данное ограничение связано со свойствами песка и ему подобных материалов, используемых для печати. Таким образом, можно заключить, что данная технология лучше подходит для печати различных декоративных элементов, чем для возведения зданий и сооружений.

Стоит отметить, что одной из серьезных проблем, препятствующих широкому распространению технологий, основанных на способе Direct Deposition (CC и CP), является недостаток материалов, отвечающих заданным требованиям.

1.3 Основные компании на рынке строительной 3D печати

На сегодняшний день существует множество проектов, направленных на развитие аддитивных строительных технологий. Ранее упомянутая китайская компания Winsun уделяет большое внимание совершенствованию технологий печати и модернизации строительных 3D принтеров, так как стремится упрочить своё лидерство на мировой арене. В качестве демонстрации своих возможностей, в 2014 г. компания Winsun напечатала 10 одноэтажных домов за 24 часа. Год спустя на выставке в промышленном парке Сучжоу, в провинции Цзяну, китайские инженеры представили сразу 2 проекта: пятиэтажное жилое здание, которое по праву считается самым высоким зданием, построенным по технологии 3D-печати и двухэтажная вилла, площадью 1100 м² (Рисунок 1.4). Весной 2016 года Winsun представила «офис будущего», изготовленный по аддитивной технологии в городе Дубай, Объединенных Арабских Эмиратов (Рисунок 1.5).



Рисунок 1.4—Объекты представленные компанией Winsun на выставке в Сучжоу



Рисунок 1.5—«Офис будущего» в ОАЭ

Total Kustom – это организация, базирующаяся в Миннесоте, США, основанная российским инженером Андреем Руденко. Он самостоятельно разработал конструкцию принтера, аналогичного технологии Concrete Printing. Его изобретение предназначено для возведения малоэтажных строений площадью до 200 м². Скорость печати варьируется в зависимости от условий выполнения работ, навыков оператора, сложности 3D-модели, и, в среднем, составляет 48 часов для конструкции высотой 3 м, площадью 100 м². Прежде чем приступить к реализации коммерческих проектов, Андрей Руденко в течение нескольких лет работал над демонстрационной моделью – бетонным замком (Рисунок 1.6). За это время он модернизировал конструкцию принтера, отработывал технологию печати, подбирая оптимальный состав бетонной смеси. После этого, команда Total Kustom осуществила проект по возведению номера в Lewis Grand Hotel в Филиппинах (Рисунок 1.7). Он считается первым коммерческим строительным объектом, созданным с помощью 3D-печати.



Рисунок 1.6–Замок, напечатанный Андреем Руденко



Рисунок 1.7–Процесс строительства номера в Lewis Grand Hotel

Российские инженеры также работают над технологией строительной 3D-печати. Так, Никита Чен-юн-тай разработал мобильный строительный 3D-принтер APIS COR (Рисунок 1.8). Его изобретение принципиально отличается от конкурентов. APIS COR способен выполнять печать сооружения «изнутри», благодаря своей уникальной конструкции. Оставаясь на одном месте, 3D-принтер APIS COR может возводить слой за слоем стены из бетонной смеси. Дисперсное армирование качественно улучшает механические характеристики бетонов, а также позволяет сократить рабочее сечение конструкции и в ряде случаев отказаться от использования стержневой арматуры или уменьшить ее расход [87]. Совместно с русско-итальянской компанией «Renka Rus», инженеры APIS COR изучают возможность применения для строительства геополимерных материалов, которые являются более экологичными [88].



Рисунок 1.8–Принтер APIS COR

Российская компания «СПЕЦАВИА», занимающаяся производством станков ЧПУ для металлообрабатывающей отрасли, разработала оборудование, предназначенное для строительной 3D- печати (Рисунок 1.9). Их продукция по типу относится к порталным принтерам, т.е. для его функционирования необходима система направляющих, обеспечивающих передвижение [89]. На данный момент производятся принтеры нескольких модификаций. Компания ведёт разработки по расширению применяемых составов, увеличению рабочего поля.

Специально для «СПЕЦАВИА» компаниями-партнёрами было разработано более 15 составов, используемых для печати. Компания «СПЕЦАВИА» предлагает следующие варианты исходного материала:

- каолиновая смесь,
- стеклофибробетон,
- цементная смесь М300 с минеральными добавками,
- мелкодисперсная цементная смесь,
- высокопрочная цементная смесь.



Рисунок 1.9–Строительный 3D-принтер S-4063

Компания Monolite UK разработала и запатентовала установку, работающую по технологии Binder Jetting для строительства зданий. Она состоит

из жесткой рамы, большой плоской платформы и настраиваемой печатающей головки, вмещающей до 300 сопел. CAD-CAM программное обеспечение управляет механизмом в процессе строительства, производя сканирование по всей поверхности и осаждение связующего вещества.

Созданный в 2007 году оригинальный принтер стал первым в мире масштабным струйным принтером, использующим 3D-технологии печати (Рисунок 1.10).



Рисунок 1.10– D-Shape принтер

Принтер использует специальное связующее и обычный песок (измельчённый доломитовый известняк) в качестве единственного сырья. Песок смешивают с твердым катализатором, и затем полученную смесь подвергают воздействию жидкого связующего вещества. Излишек песка может быть повторно использован для следующей печати.

Компания использовала свою технологию для создания искусственных рифов, защитного укрепления для миротворческих войск, одноэтажного дома и уличной мебели, а также для создания уникальных объектов ландшафтной архитектуры. Нынешний президент компании Адам Кушнер добился разрешения на строительство недвижимости в США, и в данный момент разрабатывается проект по созданию апартаментов в Нью-Йорке.

Архитектурная компания DUS напечатала небольшой домик объемом 25 м³ в заброшенной промышленной зоне Амстердама (Рисунок 1.11). Создатели продемонстрировали возможность быстрой 3Dпечати убежищ в зонах стихийных бедствий или в случаях других экстренных ситуаций.



Рисунок 1.11– Urban Cabin

Конструкция выполнена из биоразлагаемого пластика на основе льна – материала, разработанного совместно с концерном Henkel. Постройка имеет сотовую конструкцию, что позволяет добиваться достаточной прочности при минимальных материальных и временных затратах. Подобные жилища не планируется делать постоянными. Использованный пластик можно раздробить и превратить в материал для новых проектов [26]. Для изготовления домика был использован 3D-принтер собственной разработки под названием «KamerMaker» – устройство высотой в три с половиной метра, уместяющееся в обычный транспортный контейнер. Такая концепция более ограничена по размерам готовых изделий, чем системы, использующие роботизированные манипуляторы, но создатели решили отдать предпочтение стабильности и более высокому качеству. 3D-печать крупных построек остается возможной, но по частям. Легкая сотовая конструкция позволяет размещать постройку в нужном месте с помощью небольшого крана или даже вручную. В случае необходимости можно залить фундамент и пол, однако разработчики считают, что при использовании дизайна по назначению такие меры будут излишними.

World’s Advanced Saving Project (WASP) – это проект, созданный командой итальянских исследователей и инженеров, направленный на разра-

ботку технологии 3D-печати. WASP производит профессиональные принтеры с целью стимулирования развития и внедрения этой технологии, налаживания процессов производства для решения проблемы энергоэффективности, которая особа актуальна в современном мире. WASP разработали строительный принтер Big Delta высотой 12 м (Рисунок 1.12) [90].



Рисунок 1.12– Принтер Big Delta

Одной из задач WASP является возведение конструкций из материалов, которые можно добыть в регионе строительства. Для осуществления этой цели требуется мобильный механизм с низким энергопотреблением. Несмотря на внушительные размеры, для его установки требуется около одного часа, более того, для питания принтера могут использоваться солнечные панели. Благодаря вращающемуся соплу, материал не только выдавливается, но и смешивается на выходе что делает его более сплошным. Также WASP разработали новую конструкцию экструдера, который способен втягивать излишек экструдированного материала. Главным проектом WASP является экологически чистый поселок с низким потреблением энергии, который носит название «Шамбала». Основным строительным материалом является смесь на основе почвы и соломы с добавлением песка и извести [91].

1.4 Выводы литературного критического обзора

Благодаря проделанного литературного критического обзора, было выяснено, что строительные аддитивные технологии развиваются уже давно во всем мире, также и в России. Актуальным вопросом на сегодняшний день является решение проблем с отсутствием нормативной и законодательной базы для строительства зданий с помощью 3D принтера которая ограничивает его применение для массовой застройки, поэтому крупные строительные компании не приобретают строительные принтеры. На сегодняшний день данные устройства применяются в основном для малоэтажного и малогабаритного индивидуального строительства, а также для изготовления малых архитектурных форм. Также отсутствует универсальная смесь для печати по причине того, что разные производители применяют различные бетонные смеси, экспериментируя с составом компонентов и их соотношением. Исходя из всего этого можно сделать вывод о том, что строительная 3D печать нуждается в изучении.

2 Сравнительный анализ основных вертикальных несущих конструкций на примере индивидуального 2-х этажного жилого на 6 человек: 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D-принтере)

2.1 Архитектурные решения

2.1.1 Описание и обоснование внешнего и внутреннего вида объекта капитального строительства. Подсчёт технико-экономических показателей здания

Архитектурно - планировочные решения разработаны в соответствии с нормативными требованиями по пожарной безопасности и другими действующими нормами и правилами (Рисунок 2.1).

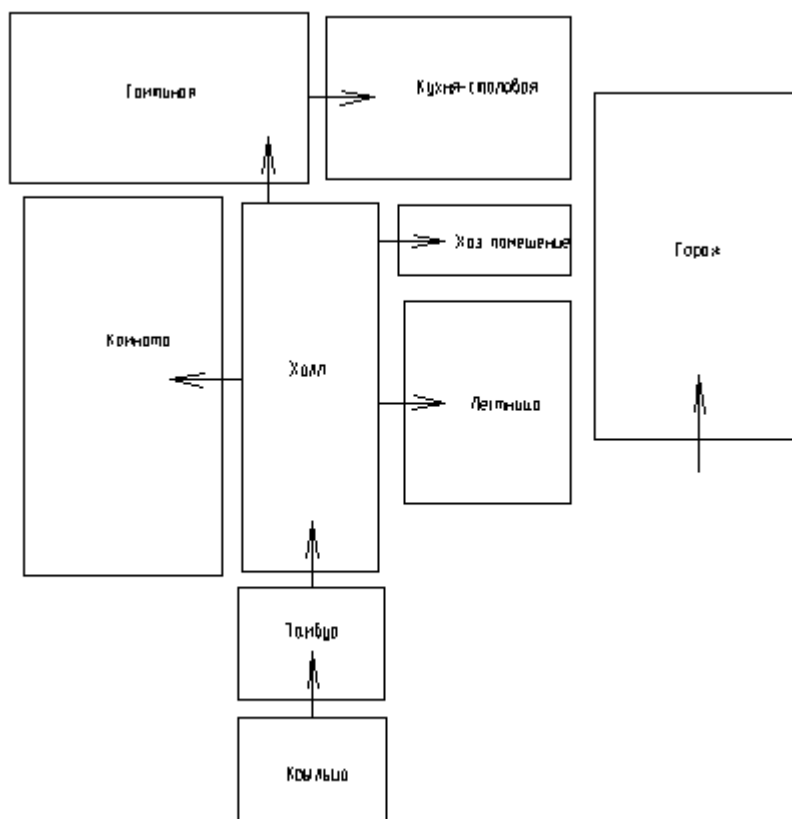


Рисунок 2.1–Блок схема дома

Проектируемое двухэтажное здание с подвалом, прямоугольной формы в плане с размерами в осях "1-9"- "А-Е" 11,65х18.05 м. Здание представляет собой 4-х комнатный жилой дом.

Для достижения цели магистерской диссертации в работе рассмотрены 2 варианта основных вертикальных несущих конструкций (Таблица 2.1).

Таблица 2.1–Варианты основных вертикальных несущих конструкций

1 вариант (кирпичный остов здания)	2 вариант (остов напечатанный на 3D-принтере)
1	2
<p>Фундаменты – железобетонные сборные ленточные.</p> <p>Высота помещений подвала – 2.7 м.</p> <p>Отмостка - бетонная (бетон В7,5) по периметру здания толщиной 150 мм и шириной 1000 мм, утепленная экструдированным пенополистиролом Стирекс 35, по основанию из гравийно-песчаной смеси толщиной 150мм.</p> <p>Крыльца - монолитные бетонные с покрытием из керамогранитной плитки.</p> <p>Козырьки - с покрытием из металлического профилированного листа С21-1000-0,6 по ТУ-11 2000004-1394544-06 по деревянным стропильным конструкциям.</p> <p>Перекрытия – сборные железобетонные, плиты многопустотные.</p> <p>Высота помещений первого и второго этажа – 3 м.</p>	
<p>Наружные стены – кирпичные трехслойные, наружная верста 120 мм, внутренняя верста 380 мм и 120 мм утеплитель.</p> <p>Внутренние стены – кирпичные 380 мм.</p> <p>Перегородки – кирпичные толщиной 120 мм.</p> <p>Перемычки - железобетонные.</p>	<p>Наружные стены – напечатаны 3D-принтером толщиной 270 мм. (см. теплотехнический расчет). Слой бетона 80 мм, слой утеплителя 140 мм и слой бетона 50 мм.</p> <p>Внутренние стены - напечатаны 3D-принтером толщиной 270 мм.</p> <p>Перегородки – напечатаны 3D-принтером, толщиной 100 мм.</p> <p>Перемычки – напечатаны 3D-принтером</p>

Продолжение таблицы 2.1

1	2
<p>Внутренняя отделка - согласно ведомости отделки помещений;</p> <p>Полы - линолеум, керамические;</p> <p>Двери - согласно ведомости заполнения проемов;</p> <p>Окна - из ПВХ профиля по ГОСТ 30674-99 согласно ведомости заполнения проемов;</p> <p>Кровля – вальмовая с покрытием из битумно-полимерных листов по ТУ-11 2000004-1394544-06 по деревянным стропильным конструкциям, с не организованным. Утепление чердачного перекрытия минераловатными плитами ПТЭ-100 по ТУ 5761-00126238-00 t=200мм. Материал кровли – битумная черепица, крепится по сплошной OSB плите по обрешётке из досок 30x100мм шаг 300мм. Стропила приняты сечением 100x200 мм с шагом 800 мм. Крепление стропил к мауэрлату сечением 120x120 мм производится при помощи двойной скрутки диаметром 4 мм через одну стропильную ногу и крепятся ершами в шов кладки.</p>	

Технико–экономические показатели здания представлены в таблице 2.2.

Проектная документация разработана на основании и в соответствии с требованиями СНиП, СП и других нормативных актов [106-110].

Таблица 2.2–Технико - экономические показатели здания

Номер	Наименование	Количество	Ед.изм.
1	Общая площадь здания	312.91	м ²
2	Жилая площадь	89.75	м ²
3	Общая площадь квартиры	72.81	м ²
4	Строительный объем	1644.28	м ³
5	Площадь застройки (с учетом крыльцев)	202.38	м ²

2.1.2 Обоснование принятых объемно-планировочных и архитектурно-художественных решений, в том числе в части соблюдения пре-

дельных параметров разрешенного строительства объекта капитального строительства

Проектируемый дом рассчитан для проживания 6 человек. Дом разделен на дневную (общественно-хозяйственную) и ночную (спальную) зоны. Все помещения посчитаны исходя из норм [106].

В данном проекте предлагается двухэтажный индивидуальный жилой дом с цокольным этажом. Дом размерами в плане 12,20x18,05 м.

Входы в жилой дом расположены со стороны фасадов "1-9", "А-Е".

Цокольный этаж. На цокольном этаже расположены следующие помещения: 3 кладовые, холл, летняя кухня, комната отдыха, прачечная, вспомогательное помещение, гардеробная (Таблица 2.3).

Таблица 2.3—Экспликация помещений цокольного этажа

Номер помещения	Наименование	Площадь, м ²
1	2	3
1	Кладовая	11.58
2	Холл	6.78
3	Летняя кухня	12.55
4	Кладовая	4.77
5	Кладовая	4.43
6	Комната отдыха	30.85
7	Прачечная	10.33
8	Вспомогательное помещение	1.51
9	Гардеробная	11.72

Первый этаж. За уровень чистого пола принимаем отметку пола первого этажа. На первом этаже расположены следующие помещения: тамбур, холл, 4 кладовые, жилая комната, гостиная, веранда, кухня-столовая, гараж (Таблица 2.4).

Таблица 2.4—Экспликация помещений первого этажа

Номер помещения	Наименование	Площадь, м ²
1	2	3
1	Тамбур	4.14
2	Холл	25.71
3	Кладовая	1.41
4	Жилая комната	13.78
5	Гостиная	30.85
6	Веранда	7.95
7	Кухня-столовая	15.48
8	Кладовая	2.32
9	Кладовая	1.39
10	Кладовая	1.48
11	Гараж	31.05

Второй этаж. На второй этаж здания ведет лестница. На втором этаже запроектированы три жилые комнаты, холл, балкон, санузел, ванная комната (Таблица 2.5).

Таблица 2.5–Экспликация помещений второго этажа

Номер помещения	Наименование	Площадь, м ²
1	2	3
1	Холл	24.13
2	Балкон	1.27
3	Жилая комната	10.62
4	Санузел	4.24
5	Жилая комната	19.02
6	Ванная комната	8.07
7	Жилая комната	15.48

2.2 Противопожарные мероприятия

Класс конструктивной пожарной опасности проектируемого здания в первом и во втором случае – С1 [111].

Класс функциональной опасности здания в первом и во втором случае - Ф1.4 [111].

Класс пожарной опасности строительных конструкций существующего здания – К1 [112].

На проектируемом объекте предусмотрено по одному эвакуационному выходу с первого этажа. С подвального этажа предусмотрен эвакуационный и аварийный выход.

Высота эвакуационных выходов в свету 2,1м и ширина 1,0 м, что соответствует требованиям [113].

2.3 Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций

2.3.1 Расчёт 3-х слойной конструкции стены

Схема конструкции ограждающей конструкции показана на рисунке 2.2.

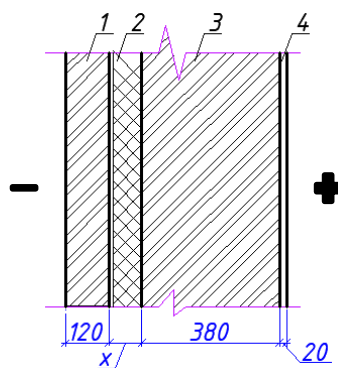


Рисунок 2.2–Схема ограждающей конструкции

где 1- кладка из глиняного кирпича обыкновенного на ц.-п. р-ре, 2- утеплитель минераловатные плиты - KNAUF Therm Wall, 3- кладка из глиняного кирпича обыкновенного на ц.-п. р-ре, 4- Раствор известково-песчаный.

Значение характеристик материалов сведены в таблицу 2.6.

Таблица 2.6–Термическое сопротивление конструкции стены

Наименование материала	Толщина слоя δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ² °С	Плотность γ , кг/м ³
Кладка из глиняного кирпича обыкновенного (ГОСТ 530) на ц.-п. р-ре	0.12	0.81	1450
Утеплитель минераловатные плиты - KNAUF Therm Wall	x	0.034	30
Кладка из глиняного кирпича обыкновенного (ГОСТ 530) на ц.-п. р-ре	0.38	0.81	1450
Раствор известково-песчаный	0.02	0.81	1800

Определим термическое сопротивление стены по формуле 2.1.

$$R_0 = R_{int} + R_{ext} + \sum m, i = \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 0.41 + 0.67 + \frac{0.12}{0.034} \right) = 3,25 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (2.1)$$

Проверка по формуле 2.2.

$$R_0 = 3,95 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{тp0} = 3,74 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (2.2)$$

Условие выполняется, конструкцию можно применять по приведенному сопротивлению теплопередачи термотолщину $t = 120$ мм.

Подробный расчёт приведен (Приложение А).

2.3.2 Расчёт чердачного перекрытия

Схема конструкции ограждающей конструкции показана на рисунке 2.3:

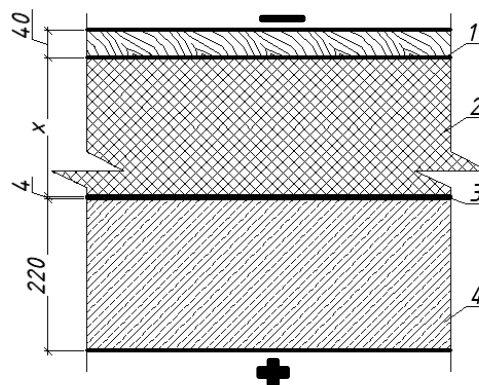


Рисунок 2.3–Схема ограждающей конструкции

где 1- сосна и ель вдоль волокон, 2- утеплитель минераловатные плиты - KNAUF Therm Roof, 3- пароизоляция–пленка Ютафолд Д, 4- железобетон.

Значение характеристик материалов сведены в таблицу 2.7.

Таблица 2.7–Термическое сопротивление конструкции перекрытия

Наименование материала	Толщина слоя δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ² °С	Плотность γ , кг/м ³
Сосна и ель вдоль волокон	0.04	0.35	520
Утеплитель минераловатные плиты - KNAUF Therm Roof	x	0.034	30
Пароизоляция–пленка Ютафолд Д	0.002	0.17	100
Железобетон	0.22	2.04	2500

Определим термическое сопротивление перекрытия по формуле 2.3.

$$R_0 = R_{int} + R_{ext} + \sum m, i = \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 0.41 + 0.67 + \frac{0.2}{0.034} \right) = 4.98 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт} \quad (2.3)$$

Проверка по формуле 2.4.

$$R_0 = 3,95 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт} > R_{тp0} = 3,74 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт} \quad (2.4)$$

Условие выполняется, конструкцию можно применять по проведенному сопротивлению теплопередачи термотолщину $t = 200$ мм.

Подробный расчёт приведен (Приложение Б).

2.4 Влияние аддитивных технологий на объемно-планировочные решения здания

Применение технологий 3D-печати позволяет возводить здания практически любой формы, что дает дизайнерам и архитекторам создавать уникальные проекты. Также происходит автоматизация ручного труда, что позволяет уменьшить число строительных рабочих и минимизировать риск

производственных травм. По команде оператора 3D-принтер будет создавать фундамент будущего здания, формировать его стены, а бригаде строителей останется лишь контролировать процесс 3D-печати и укладывать плиты перекрытия на разных этапах строительства здания.

Еще одно преимущество при использовании технологии трехмерной печати – скорость. Данная технология оптимально подходит для строительства домов после чрезвычайных происшествий или для создания социального жилья. Ярким примером служит проект в Шанхае – возведенная за сутки группа из десяти 3D-печатных домов, каждый площадью в 200 квадратных метров. Благодаря технологии 3D-печати стоимость одного такого дома составила 4800 долларов. Печать осуществлялась по контуру всего здания. Целиком огромным 3D-принтером длиной 150 метров, шириной 10 м и высотой 6,6 м. Взамен новым строительным материалам компанией использовались строительные и промышленные отходы и при помощи компьютерного моделирования в конструкциях домов, были заложены разъемы под трубопровод, электропроводку и оконные блоки.

2.5 Теплотехнический расчёт многослойной конструкции стены, напечатанной строительным 3D принтером

Таблица 2.8–Способы утепления наружной стены, напечатанной с помощью 3D-принтера

Способ утепления	Толщина слоя δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ² °С	Плотность, кг/м ³	Кто предложил систему утепления
Пенобетон	0.14	0.069	200	В.В. Молодин
Вермикулит	0.1	0.05	200	П.В. Монастырев, В.А. Езерский, И.А. Иванов, Б. Азауи Дубла
Перлит	0.09	0.043	100	П.В. Монастырев, В.А. Езерский, И.А. Иванов, Б. Азауи Дубла

Из данной таблицы можно сделать вывод о том, что в качестве утеплителя лучше всего подходит пенобетон, так как все остальные утеплители имеют слишком малую плотность.

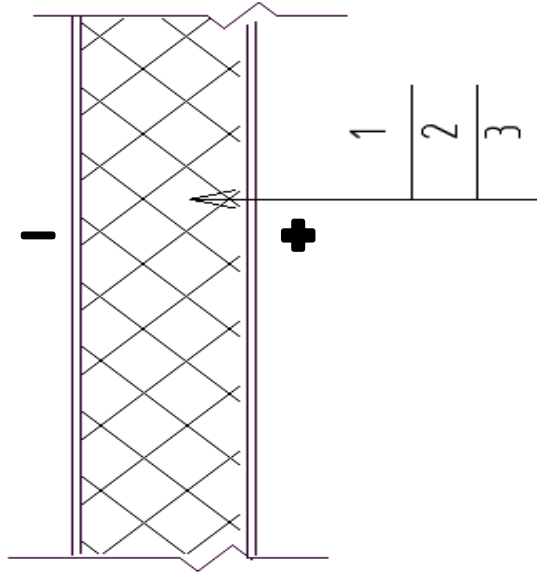


Рисунок 2.3–Слой наружной стены
1-бетон, 2-пенобетон, 3-бетон.

Значение характеристик материалов сведены в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Термическое сопротивление конструкции стены

Наименование материала	Толщина слоя δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ² °С	Плотность, кг/м ³
Бетон	0.05	0.12	2300
Пенобетон	X	0.069	200
Бетон	0.08	0.12	2300

55%-расчетная относительная влажность внутреннего воздуха п.4.3
таблица 1 [116].

где $t_{int}=(20^{\circ}\text{C})$ -температура внутреннего воздуха по таблице 1 [116].

$z_{ht} =236$ сут. продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха 8°C по таблице 3.1 [116].

$t_{ext}=(-38^{\circ}\text{C})$ -расчетная температура наружная воздуха наиболее холодной, пятидневки по таблице 3.1. [116].

$t_{ht}=(-7,7^{\circ}\text{C})$ -средняя температура наружного воздуха за оптимальный периоды по таблице 3.1 [116].

A - нормальный влажностный режим помещения и условия эксплуатации ограждающих конструкций таблице 2 [116].

Определение градуса-суток отопительного периода по формуле 2.5.

$$D_d = (t_{int} - t_{ht})z_{ht} = (20 + 7,7) 236 = 6537,2^{\circ}\text{C сут} \quad (2.5)$$

Нормативное значение приведенного сопротивления теплопередачи по формуле 2.6.

$$R_{reg} = \alpha D_d + b \quad (2.6)$$

где α и b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблице 4 [114] для соответствующих групп зданий, $\alpha = 0.0003$, $b = 1.2$.

$$R_{reg}^w = \alpha D_d + b = 0,0003 \cdot 6537 + 1,2 = 3.16 \text{ M}^2\text{C}/\text{BT} \quad (2.6)$$

Определим нормы тепловой защиты по условию санитарии по формуле 2.7.

$$R_{red} = \frac{t_{int}-t_{ext}}{\Delta t_n \cdot \alpha_{unt}} = \frac{1 \cdot (20+38)}{4,5 \cdot 8,7} = \frac{58}{39,15} = 1,48 \text{ M}^2 \text{C}/\text{BT} \quad (2.7)$$

где n - коэффициент принятый по таблице 6 [114].

$\Delta t_n = 4,5$ нормируемый температурный перепад внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности, ограждающей конструкции таблице 5 [114].

$\alpha_{int} = 8,7^\circ\text{C}/\text{Вт}$ – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей поверхности принимаем по таблице 7 [116]. Из приведенных выше за требуемое сопротивление R_{red} из условия энергосбережения.

Обозначаем $R_{отр} = 3,16^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Для каждого слоя стены согласно рисунка 2.3 рассчитаем термическое сопротивление стены по формуле 2.8.

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (2.8)$$

где δ_i – толщина i -го слоя, м, λ_i – расчётный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{C}$;

$$R_1 = 0.05/0.12 = 0.41 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (2.8)$$

$$R_1 = 0.08/0.12 = 0.67 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (2.8)$$

Определяем минимально допустимое термическое сопротивление теплоизоляционного материала по формуле 2.9 [114].

$$R_{ут}^{TP} = R_{тp0} - (R_{int} - R_{ext} + \sum Ri) = 3.16 - \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 0.41 + 0.67 \right) = 1.94 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/ \quad (2.9)$$

где $R_{int} = 1/\alpha_{ext} = 23$ сопротивление теплоотдаче наружной поверхности ограждающих конструкций по таблице 14 [114].

$\sum Ri$ -сумма термических слоев ограждающей конструкции

Найдем требуемую толщину утеплителя по формуле 2.10.

$$\delta_{ут}^{тр} = \lambda_{ут} \cdot R_{ут}^{тр} = 0.069 \cdot 1.94 = 0.14 \text{ м} = 140 \text{ мм} \quad (2.10)$$

где $\lambda_{ут}$ - теплопроводность искомого слоя таблица 2.3.

Определим термическое сопротивление стены по формуле 2.11.

$$R_0 = R_{int} + R_{ext} + \sum m, i = \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 0.41 + 0.67 + \frac{0.11}{0.04} \right) = 3,25 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (2.11)$$

Проверка по формуле 2.12.

$$R_0 = 3,25 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{тp0} = 3,16 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (2.12)$$

Условие выполняется, конструкцию можно применять по проведенному сопротивлению теплопередачи термотолщину $t = 140$ мм.

2.6 Описание и обоснование конструктивных решений здания

Для достижения цели магистерской диссертации в работе рассмотрены 2 варианта основных вертикальных несущих конструкций.

1 вариант здание с кирпичным вертикальным несущим каркасом

Конструктивная система здания - стеновая, с продольными и поперечными несущими стенами, с опиранием многопустотных плит перекрытия по двум сторонам в продольном направлении для предания конструкции жесткости.

Для возведения стен из каменной кладки применяем керамические кирпичи.

Несущие каменные стены возводим из кладки на растворах со специальными добавками, повышающими сцепление раствора с кирпичом или камнем. Вертикальные швы кладки заполняем раствором.

Для кладки несущих и самонесущих стен применяем полнотелый и пустотелый кирпич марки М100 [117].

Для возведения перегородок и ненесущих стен применяем кирпичи марки М100 [117].

Высота этажа здания с несущими стенами из кирпичной или каменной кладки, не усиленной армированием или железобетонными включениями, не должна превышать 5 м при расчетной сейсмичности 7 баллов.

В зданиях из мелких ячеисто-бетонных блоков расстояние между стенами независимо от расчетной сейсмичности не должно превышать максимально допустимых и равно 4.9 м [117].

В уровне перекрытий и покрытий устраиваем антисейсмические пояса по всем продольным и поперечным стенам, выполняемые из монолитного железобетона и непрерывным армированием. Антисейсмические пояса верхнего этажа связаны с кладкой вертикальными выпусками арматуры.

Антисейсмический пояс (с опорным участком перекрытия) устраиваем на всю ширину стены; в наружных стенах толщиной 620 мм. Высота пояса составляет 150 мм, класс бетона - В12,5 [117].

Продольная арматура поясов 4 d_{10} [117].

Сейсмостойкость каменных стен здания повышаем сетками из арматуры.

Кладку армируем сетками в горизонтальных швах и отдельными вертикальными стержнями или каркасами, размещаемыми в теле кладки или штукатурных слоях [117].

2 вариант здание с напечатанным на 3 D–принтере вертикальным несущим каркасом

Конструктивная система здания - стеновая, с продольными и поперечными несущими стенами, с опиранием многопустотных плит перекрытия по двум сторонам в продольном направлении для предания конструкции жесткости.

Максимальное расстояние между несущими стенами равно 4.9 м [117].

Перекрытия сборно-монолитные.

Армирование монолитных стен выполняем пространственными каркасами, собираемыми из плоских вертикальных каркасов.

В пространственных каркасах, применяем для армирования поля стен, диаметр вертикальной арматуры 10 мм, а горизонтальной - 8 мм. Шаг горизонтальных стержней, объединяющих каркасы 400 мм [117].

Стыкование стержней и арматурных каркасов при бетонировании конструкций монолитных зданий осуществляем внахлестку без сварки - при диаметре стержней до 20 мм [117].

Перемычки армируем пространственными каркасами и заводим их арматуру за грань проема по требованиям с учетом дополнительных требований настоящего свода правил, но не менее чем на 500 мм [117].

Шаг поперечных стержней пространственных каркасов перемычек 10d (d - диаметр продольных стержней). Диаметр поперечных стержней 8 мм [113].

2.7 Расчет несущего кирпичного простенка

2.7.1 Выбор материалов, их расчетные характеристики

Материал простенка: кирпич керамический обыкновенный марки М100; марка раствора М50. Плотность кладки $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, кладка сплошная.

Расчетное сопротивление сжатию кладки из обыкновенного кирпича марки М100 на растворе марки М50: $R = 1,3 \text{ МПа}$ [118].

Временное сопротивление сжатию материала кладки: $R_u = kR = 2 \cdot 1,3 = 2,6 \text{ МПа}$. Упругая характеристика кладки из обыкновенного кирпича пластического прессования $\alpha = 1000$ [118].

2.7.2 Расчетная схема, сбор нагрузок, определение усилий

Принимаем количество проемов на один пролет равным одному, тогда ширина простенка составит (Рисунок 2.4):

$$b_{np} = L - b_{пр} = 5.04 - 2.65 = 2.39 \text{ м} \quad (2.13)$$

где L – шаг наружных стен здания, м; $b_{пр}$ – ширина дверного проема, м. Площадь сечения простенка по формуле 2.14.

$$A = 2390 \cdot 380 = 908\,200 \text{ мм}^2. \quad (2.14)$$

Коэффициент условий работы кладки $\gamma_c = 1,0$, т.к. $A = 0.908 \text{ м}^2 > 0,3 \text{ м}^2$.

Расчетная длина простенка по формуле 2.15.

$$l_0 = H = 3000 \text{ мм} \quad (2.15)$$

Гибкость простенка по формуле 2.16.

$$\lambda = l_0 / h = 3000 / 380 = 7.9. \quad (2.16)$$

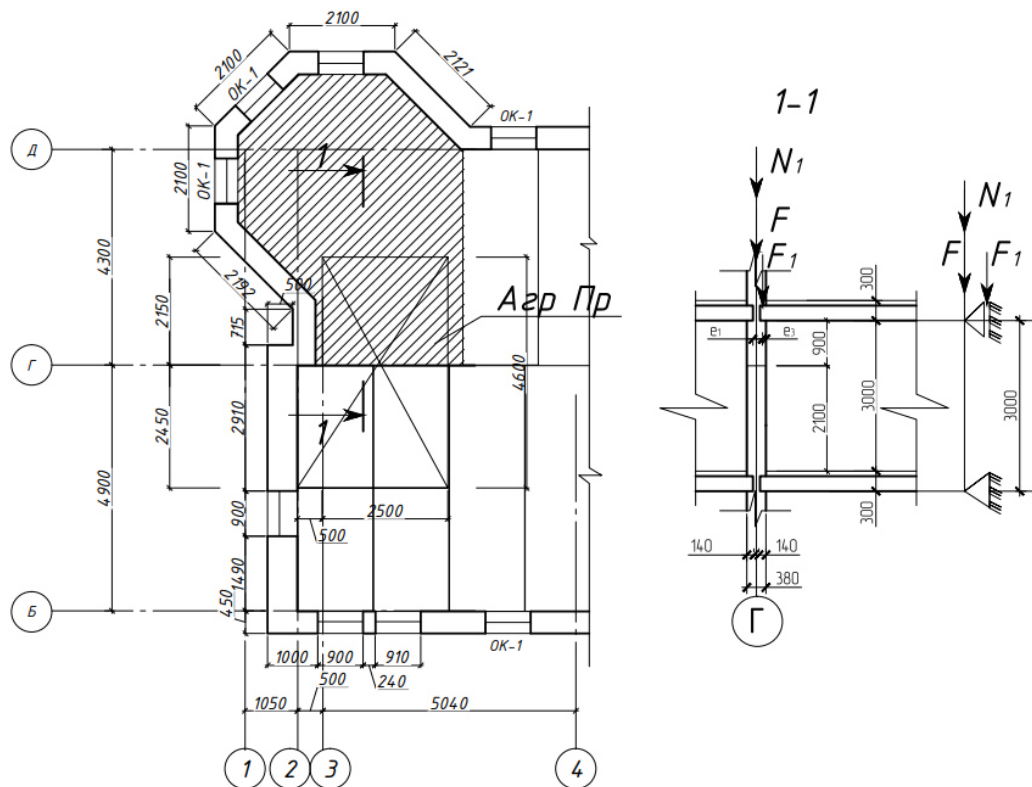


Рисунок 2.4—Расчетная схема кирпичного простенка

Простенок рассчитывается на следующие расчетные сочетания нагрузок: постоянная нагрузки + временная нагрузка, веса конструкции покрытия + снеговая нагрузка (Таблица 2.10).

Таблица 2.10—Сбор нагрузок

№ п/п	Наименование нагрузки	Ед. изм.	Норм. нагрузка	γ_f	Расчетная нагрузка
1	2	3	4	5	6
1	Постоянные нагрузки				
	Вес элементов кровли:				
1.1	Кровельное покрытие—битумно-полимерные листы $\delta=0.0032$ м, $\rho=6$ кН/м ²	кН/м ²	0.019	1.3	0.025
	Подстилающий слой $\delta=0.0032$ м, $\rho=6$ кН/м ²	кН/м ²	0.019	1.3	0.025

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3	4	5	6
1.1	Сплошной настил из влагостойкой фанеры $\delta=0.01$ м, $\rho=6.37$ кН/м ³	кН/м ³	0.06	1.3	0.078
	Обрешетка $\delta=0.03$ м, $\rho=5.5$ кН/м ³	кН/м ³	0.165	1.3	0.215
	Контрлага вдоль стропил $\delta=0.05$ м, $\rho=5.39$ кН/м ³	кН/м ³	0.27	1.3	0.35
	Стропильная нога $\delta=0.18$ м, $\rho=5.28$ кН/м ³	кН/м ³	0.95	1.3	1.2
Итого элементов кровли			1.48		1.89
Собственный вес чердачного перекрытия					
1.2	Доски $\delta=0.04$ м, $\rho=5.19$ кН/м ³	кН/м ³	0.21	1.1	0.231
	Утеплитель $\delta=0.2$ м, $\rho=8$ кН/м ²	кН/м ²	1.6	1.1	1.76
	Пароизоляция $\delta=0.0002$ м, $\rho=4$ кН/м ²	кН/м ²	0.0016	1.1	0.0018
	Плита перекрытия ж/б $\delta=0.22$ м, $\rho=25$ кН/м ³	кН/м ³	5.5	1.1	6.05
Итого от чердачного перекрытия			7.3		8.04
Собственный вес междуэтажного перекрытия над подвалом и первым этажом					
1.3	Ламинат $\delta=0.008$ м, $\rho=9.7$ кН/м ³	кН/м ³	0.08	1.1	0.0088
	Пробковый слой $\delta=0.002$ м, $\rho=4.5$ кН/м ³	кН/м ²	0.009	1.1	0,0099
	Пленка полиэтиленовая $\delta=0.0002$ м, $\rho=0.9$ кН/м ²	кН/м ²	0.00018	1.1	0.0002
	Цементно-песчаная стяжка $\delta=0.04$ м, $\rho=25$ кН/м ³	кН/м ³	1.0	1.1	1.1
	Пенополистерол $\delta=0.03$ м, $\rho=6$ кН/м ³	кН/м ³	0.18	1.1	0.2
	Плита перекрытия ж/б $\delta=0.22$ м, $\rho=25$ кН/м ³	кН/м ³	5.5	1.1	6.05
Итого от междуэтажного перекрытия			6.8	–	7.4
Итого от междуэтажного перекрытия			6.8	–	7.4

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3	4	5	6
	Вес элементов пола				
1.4	Плита гранитогрес $\delta=0.008$ м, $\rho=16.5$ кН/м ³	кН/м ²	0.132	1.1	0.15
	Клей $\delta=0.004$ м, $\rho=12.7$ кН/м ³	кН/м ³	0.05	1.1	0.06
	Пенополистерол $\delta=0.03$ м, $\rho=6$ кН/м ³	кН/м ³	0.18	1.1	0.2
	Монолитная ж/б плита $\delta=0.1$ м, $\rho=25$ кН/м ³	кН/м ³	2.5	1.1	2.75
	Подстилающий слой из бетона $\delta=0.1$ м, $\rho=25$ кН/м ³	кН/м ³	2.5	1.1	2.75
	Крупнозернистый песок $\delta=0.2$ м, $\rho=15$ кН/м ³	кН/м ³	3.0	1.1	3.3
	Итого от элементов пола			8.4	–
1.5	Собственный вес кирпичной кладки $\rho=18$ кН/м ³ $H = 3.3 \cdot 2 + 0.3 = 6.9$ м $\delta=0.62$ м. $V = 6.9 \cdot 0.62 \cdot 1 = 4.3$ м ³	кН/п.м	77.4	1.1	85.14
2	Длительные нагрузки				
2.1	Полезная нагрузка на перекрытие	кН/м ²	1.5	1.2	1.8
2.2	Собственный вес перегородок $\rho=18$ кН/м ³ $H = 3.0 \cdot 2 + 0.3 = 6.3$ м $\delta=0.12$ м. $V = 6.3 \cdot 0.12 \cdot 1 = 4.3$ м ³	кН/м ³	14.4	1.1	15.8
3	Кратковременные нагрузки				
3.1	Снеговая нагрузка $S^n = S_0 \cdot \mu = 1,2 \cdot 1 = 1,2$ кН/м ²	кН/м ²	1,2	1.4	1.7
	В.т.ч. длительнодействующая (30% от снеговой)	кН/м ²	0,36		
Всего с кратковременными			125.0		137.4
Всего без кратковременных			123.8		135.7

Таблица 2.11–Сбор нагрузок на 1 м² стены

Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м ²	Коэф-т надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, кН/м ²	Грузовая площадь, м ²	Нагрузка на простенок, кН
Собственный вес стены с учетом штукатурки (0,38x18+0,022x22)	9,7	1,1	10,67	16,7	178,2
Вес участка стены над дверным проёмом высотой 90 см (dF)	9,7	1,1	10,67	6,7	71,5

Грузовая площадь:

$$\text{стены: } A_{зр1} = (b_{нр} + b_n) \cdot H_{эт} - b_n h_n = (5,04 + 2,39) \cdot 3 - 2,65 \cdot 2,1 = 16,7 \text{ м}^2 \quad (2.17)$$

$$\text{карнизной части } A_{зр2} = (b_{нр} + b_n) \cdot H_{карн} = (5,04 + 2,39) \cdot 0,9 = 6,7 \text{ м}^2 \quad (2.18)$$

Определение расчетных усилий.

Собственный вес стены всех вышележащих этажей по формуле 2.19:

$$N_1 = 71,5 + 178,2 \cdot 1 = 249,7 \text{ кН} \quad (2.19)$$

Нагрузка от покрытия и перекрытий вышележащих этажей по формуле 2.20:

$$F = q_{кр}^{расч} \cdot A_{зр} + q_{пок}^{расч} \cdot A_{зр} + q_{пер}^{расч} \cdot A_{зр} \cdot (n - 2) = 3,59 \cdot 11,5 + 9,84 \cdot 11,5 + 7,4 \cdot 11,5 \cdot (2 - 2) = 154,5 \text{ кН} \quad (2.20)$$

где $q_{пок}^{расч}$, $q_{пер}^{расч}$ – расчетные нагрузки на 1 м² соответственно покрытия и перекрытия; $A_{зр}$ – грузовая площадь простенка; n – число этажей.

$$A_{зр} = 2,5 \cdot 4,6 = 11,5 \text{ м}^2 \quad (2.21)$$

Нагрузка от перекрытия, расположенного над рассматриваемым этажом по формуле 2.22:

$$F_1 = q_{пер}^{расч} \cdot A_{зр} = 7,4 \cdot 11,5 = 85,1 \text{ кН} \quad (2.22)$$

Расчетная продольная сила в сечении $I - I$ по формуле 2.23:

$$N_{1-1} = N_1 + F + F_1 + \Delta F = 249,7 + 154,5 + 85,1 = 489,4 \text{ кН} \quad (2.23)$$

Расстояние от точки приложения опорной реакции до внутренней грани стены e_3 , при заделки плит в кладку на глубину $t = 140 \text{ мм}$:

2.7.3 Проверка несущей способности простенка

Высота сжатой части поперечного сечения простенка по формуле 2.24:

$$h_c = h = 380 \text{ мм} \quad (2.24)$$

Гибкость сжатой части поперечного сечения простенка по формуле 2.25:

$$\lambda_{h_c} = \frac{l_0}{h_c} = \frac{3000}{380} = 7,8 \quad (2.25)$$

Коэффициент продольного изгиба всего сечения простенка в плоскости действия изгибающего момента: при $\lambda_h = 11,8$ $\varphi = 0,86$ (см.табл.16 [118]).

Коэффициент продольного изгиба для сжатой части сечения: при $\lambda_{hc} = 12,5$ $\varphi_c = 0,81$ (табл. 20 [118]).

Несущая способность простенка в сечении $I - I$ как центрально сжатого элемента:

$$N \leq m_g RA = 1 \cdot 1,3 \cdot 908200 = 1180 \text{кН} > N_{1-1} = 464,67 \text{кН} \quad (2.26)$$

где $m_g = 1,0$ при $h > 30$ см.

Вывод: несущая способность простенка обеспечена. Армирование кладки по расчету не требуется. Но так как город Абакан находится в сейсмически опасном районе принимаем конструктивное армирование арматурой $\varnothing 10$ через каждые 5 рядов кладки.

2.8 Расчет стены с применением аддитивных технологий в строительстве

2.8.1 Конструкции принятой стены при использовании строительного 3D принтера

Было проведено исследование по изучению возможностей печати различных конструктивных элементов. В результате одним из наиболее оптимальных вариантов стала синусоидальная стена с диафрагмой жесткости. Эта схема представлена в таблице 2.12.

2.8.2 Выбор материалов, их расчетные характеристики

Материал простенка: бетон класса В20; прочность на сжатие кг/см^2 ; расчетное сопротивление на осевое сжатие $R_b = 11,5$ МПа, $R_{bt} = 11,5$ МПа; мо-

розостойкость f_{100} ; водонепроницаемость w_6 ; подвижность раствора П-2; модуль упругости $E_d=27,5 \text{ МПа} \cdot 10^{-3}$. Плотность бетона $\rho = 2300 \text{ кг/м}^3$, кладка монолитная.

2.8.3 Расчетная схема, сбор нагрузок, определение усилий

Расчетная схема, сбор нагрузок, определение усилий (Рисунок 2.5)

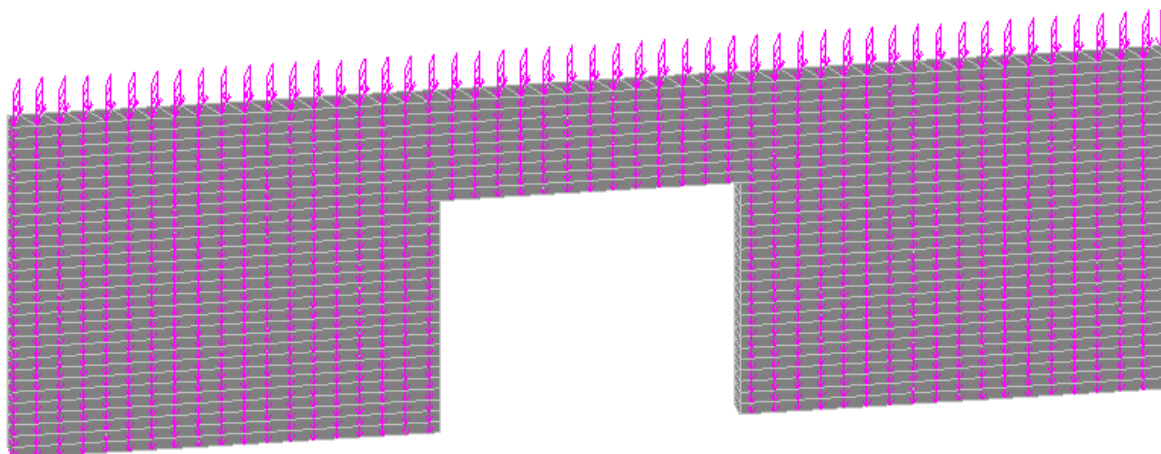


Рисунок 2.5–Приложение вертикальной нагрузки к простенку

Сбор нагрузок на напечатанный на 3D–принтере простенок приводится в таблице 2.10. Перемещения в расчетной модели (Рисунок 2.6). Напряжения в расчетной модели (Рисунок 2.7).

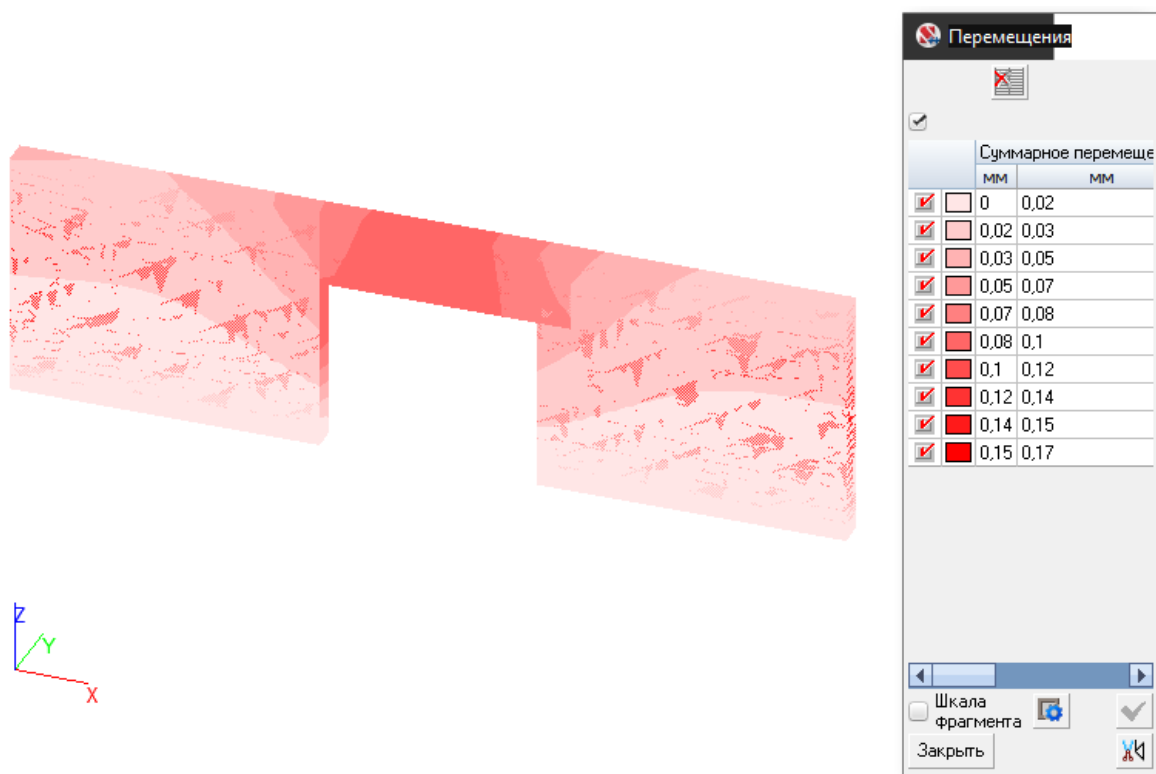


Рисунок 2.6–Перемещения в расчетной модели

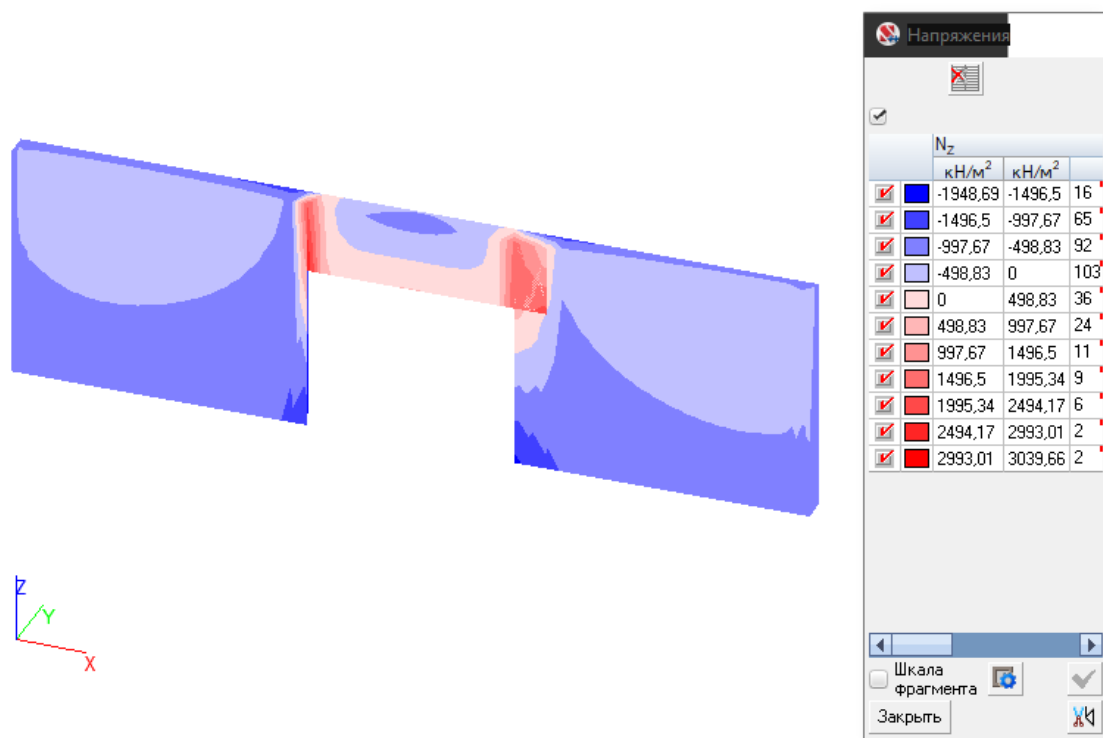


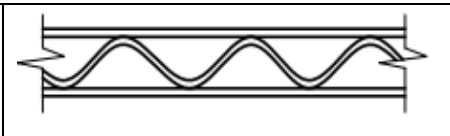
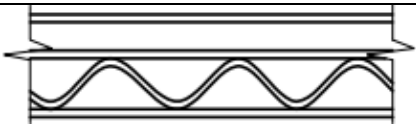
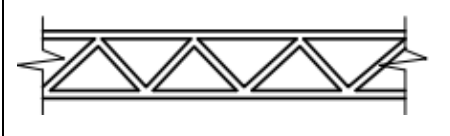
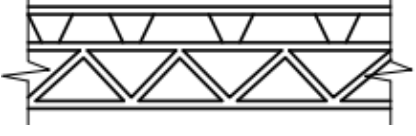
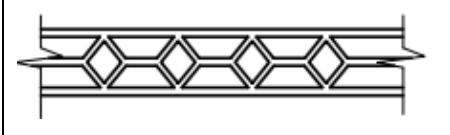
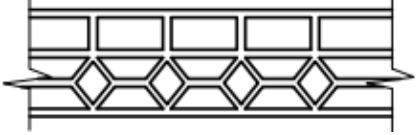
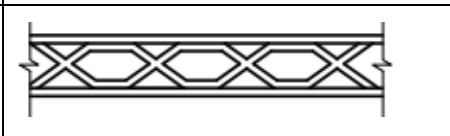
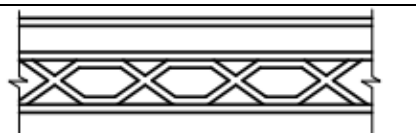
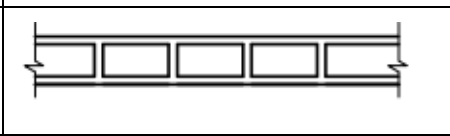
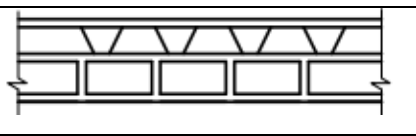
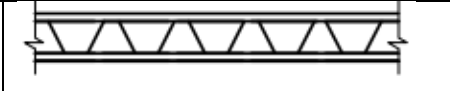
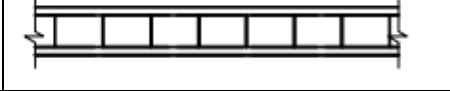



Рисунок 2.7–Напряжения в расчетной модели

Изучив все подготовленные модели можно сделать следующие выводы, что 3D-печать в малоэтажном строительстве возможна. Возможно

использование несъемной опалубки в качестве несущей части без заполнения при использовании высокопрочного бетона (БС-2) или бетона на основе ЦПС для малоэтажного строительства.

2.8.1 Конструкции стен при использовании 3D принтера

Таблица 2.12–Варианты стен зданий, возводимых с помощью 3D-принтера

Диафрагма жесткости	Однокамерная	Многокамерная
С диафрагмой жесткости		
Синусоидальная		
Треугольная		
Четырёхугольная		
Шестиугольная		
Отдельно стоячие рёбра		
Без диафрагмы жесткости		
С гибкими связями (вариант 1)		_____
С гибкими связями (вариант 2)		_____
Без гибких связей		_____
<p>Условные обозначения:</p> <p>  -бетон и фибробетон  -стержевая, стальная или композитная арматура </p>		

2.9 Сравнение фундамента напечатанного на строительном 3D принтере и сборного ленточного фундамента

Принтер начинает печать опалубки фундамента (ростверка) будущего здания. Принтер проходит по заданной траектории, укладывая материал слой за слоем. По мере печати рабочие укладывают стяжки, закладные и арматуру согласно проекту, выпуски устанавливаются в клипсы и опалубка заливается тяжелым бетоном. После того, как бетон набирает достаточную прочность, процесс строительства возобновляется.

При сравнении этих фундаментов можно сделать следующие выводы что при печатном варианте фундаментов:

- 1) Образуется меньше бытовых отходов.
- 2) В разы уменьшается время на возведения.
- 3) Уменьшается бригада рабочих, так как в данном процессе требуется только оператор и несколько рабочих для контроля качества печати.
- 4) Уменьшается сметная стоимость строительства.

2.10 Выводы по сравнительному анализу основных вертикальных несущих конструкций на примере индивидуального 2-х этажного жилого на 6 человек: 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D принтере)

Благодаря проделанному сравнительному анализу, было выяснено, что по несущей способности и теплотехническим характеристикам остов здания напечатанный на 3D принтере ничуть не уступает кирпичному остову здания, а во многом даже превосходит его. Так например исходя из теплотехнических расчетов основных вертикальных несущих конструкций первого и второго вариантов видно что при применении строительной 3D печати толщину ограждающих конструкций можно свести к минимуму за счет расположения утеплителя в полости стены. Остальные сравнительные характеристики представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Сравнительные характеристики

1 вариант (кирпичный остов здания)	2 вариант (остов напечатанный на 3D-принтере)
1	2
<p>1. Мусор на стройплощадке</p> <p>2. Дополнительные инструменты и строй-материалы</p> <p>3. Необходимость в дополнительном утеплении</p>	<p>1. Образуется меньше бытовых отходов</p> <p>2. В разы уменьшается время на возведения</p> <p>3. Уменьшается бригада рабочих, так как в данном процессе требуется только оператор и несколько рабочих для контроля качества печати</p> <p>4. Минимальные погрузочно-разгрузочные работы</p>

3 Организационно – технологические решения

3.1 Анализ применяемых составов для послойной укладки бетонной смеси строительным 3D–принтером

В настоящее время используется широкий спектр материалов для аддитивных технологий: различные полимеры и резины, порошки сталей, сплавов титана, никеля, алюминия, меди, а также инструментальные и конструкционные керамики, биосовместимые и нанопропроченные композиты. Большая часть этих материалов применяется для машиностроения, авиа- и автомобильной промышленности, изготовления товаров широкого потребления и медицинского назначения. Отдельного внимания заслуживает прорыв технологий трёхмерной печати в области изготовления эндопротезов и экзоскелетов. Однако в строительстве аддитивные технологии ещё не получили широкого применения и, соответственно, применяемые материалы находятся в стадии разработки.

Команда из Чаттануги, штат Теннесси, работает по технологии Бранч: быстро движущийся робот строит леса из ABS пластика, армированного углеродным волокном. Конструкция может иметь сложную архитектурную форму. После доставки на строительную площадку она дополняется традиционными строительными материалами, - бетоном, штукатуркой, монтажной пеной с использованием тех же инструментов, которые строители используют сегодня. Однако данная технология пока не позволяет строить несущие стены и ответственные сооружения.

Цементные составы, которые твердеют длительное время не могут удовлетворить требованиям производительности 3D-печати [19]. Состав должен быть тиксотропным, то есть уменьшать вязкость от механического воздействия и увеличивать вязкость в состоянии покоя. Возможное решение для строительной печати – сернистый бетон, который представляет собой композитный материал, изготовленный из серы и заполнителя. Смесь нагревают

выше температуры плавления серы. После охлаждения бетон достигает заданной прочности без длительного твердения [55].

Обычный цемент на основе бетона не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к материалам для строительной 3D-печати [56]. Для оптимизации процесса трехмерной печати должны быть учтены два условия. Во-первых, сила сцепления между слоями уменьшается с увеличением временного промежутка между слоями [35]. Во-вторых, материал должен затвердеть достаточно, чтобы выдержать вес впоследствии осажденных слоев без деформации. Потребность в выдерживании ранее напечатанных слоев замедлит возведение здания. Сопоставление этих двух ограничений приводит к парадоксу оптимизации скорости печати. Временной интервал между двумя осажденными слоями должен быть достаточно длинным, чтобы обеспечить необходимую прочность, но также небольшим для обеспечения прочного сцепления между слоями [57].

Способность осажденных слоев нести свой собственный вес прямо пропорционально зависит от предела текучести [51, 58]. При послойном возведении стены первый осажденный слой подвергается максимальной нагрузке. Для того, чтобы обеспечить стабильность стенки во время этого процесса, предел текучести должен быть достаточным, чтобы выдержать эту нагрузку. С другой стороны, смесь должна быть достаточно жидкой для экструзии [59]. Для наращивания структуры необходимо обеспечить достаточную текучесть при экструзии и стабильность после нанесения слоя. Предел текучести материалов на основе цемента возрастает со временем в состоянии покоя [60-67].

Группой французских ученых было доказано [58], что изменение предела текучести имеет линейный характер (модель Руссель) [63] в течение первых 40 мин, для более длительного периода увеличение текучести лучше описывает модель Перро и др. [68]. Для экспериментов ученые подобрали следующую смесь: 50% цемента, 25% известняка и 25% метакаолина. Водоцементное соотношение составило 0,41. В качестве суперпластификатора был использован поликарбоксилат, его отношение к массе цемента равно

0,3%. Начальный предел текучести материала оказался довольно большим и составил 4 кПа, что лежит в диапазоне предела текучести материала, разработанного в университете Южной Калифорнии для технологии Contour Crafting [69-70].

Добавление известняка в качестве наполнителя повышает прочность материала на сжатие и изгиб, а также улучшает удобоукладываемость бетона [71, 72], что особенно ценно при экструзии бетона.

Метакаолин улучшает свойства растворов и бетонов. Мелкие частицы, которые могут помещаться между цементными зёрнами, придают составу пастообразную структуру, которая в свою очередь уменьшает водоотделение и приводит к более однородной микроструктуре. Метакаолин при введении его в цемент повышает прочность и долговечность [73]. Кроме того, частичная замена цемента метакаолином в цементном растворе и бетоне снижает объем пор [74], что способствует повышению морозостойкости [75].

Время пластифицирующего действия поликарбоксилатов увеличено в 3-4 раза по сравнению с сульфомеланиновыми, сульфонафталиновыми формальдегидами или лигносульфонатами [76]. Это позволяет не только повысить подвижность бетонной смеси в ранние сроки, но и сохранять ее в течение большего периода времени [77], что положительно сказывается на увеличении времени, когда смесь может подаваться через экструдер.

В последнее время ученые университета Лафборо уделяли особое внимание подбору и изучению свойств бетонных смесей для 3D-печати [51, 57, 78]. Команда исследователей продемонстрировала полномасштабную конструкцию размером 1 x 2 x 0,8 м под названием «Чудесная скамейка» (Wonder Bench). Для скамьи была специально разработана бетонная смесь, способная к легкой перекачке насосом и экструдированию, кроме того полученная структура должна быть способна нести нагрузку. Состав смеси полностью не раскрыт, однако массовое соотношение представлено: 54% песка, 36% химически активных цементных соединений и 10% воды. Как отметили

исследователи, прочность полученного материала составила 95% от прочности обычного бетона [78].

Также британские ученые занимались проектированием состава бетона со свойствами, пригодными для высокопроизводительной печати. В [51] описан оптимальный состав, который включает песок и вяжущее вещество в соотношении 3:2, причем последнее включает в себя 70% цемента, 20% золы уноса, 10% микрокремнезема; а также 1,2 кг полипропиленовых волокон на 1 м³. Водоцементное соотношение составляет 0,26. Суперпластификатор и замедлитель схватывания добавлены в дозировках 1 и 0,5% соответственно по массе.

Включение микрокремнезема в состав бетона приводит к более плотной структуре бетона, повышению прочности на изгиб, уменьшению проницаемости структуры [79]. Положительные взаимодействия между полипропиленовыми волокнами и золой уноса приводят к низкой усадке бетона при высыхании. Тем не менее, полипропиленовое волокно снижает удобоукладываемость бетона [80], но суперпластификатор позволяет сделать смесь достаточно пластичной для экструдирования.

Описанная выше смесь была напечатана через сопло диаметром 9 мм с последовательным нанесением в 61 слой в одной сессии без заметной деформации нижних слоев. Время живучести смеси достигает 100 мин. Прочность на сжатие бетона превышает ожидаемый, составляя 110 МПа в возрасте 28 дней [51].

В 2016 году исследователи из Американского Университета Бейрута в Ливане подобрали хорошо экструдированную смесь необходимой прочности для 3D-печати объектов строительной отрасли. Экспериментирование на различных смесях показало, что оптимальное сочетание для достижения результата состоит из 125 г цемента, 80 г песка и 160 г мелкого заполнителя с водоцементным отношением 0,39 с добавлением 1 мл суперпластификатора и 0,625 мл замедлителя схватывания для оптимизации производительности печати. Прочность на сжатие такой смеси составляет примерно 42 Мпа [81].

Китайская компания Winsun, занимающая одну из лидирующих позиций в области 3D-печати, успешно применяет стойкий к истиранию состав Crazy Magic Stone, прочность которого в 4-5 раз превосходит прочность природного камня. Высокие механические характеристики обусловлены наличием обработанного кварцевого песка и специальной фибры. Winsun также широко используют гипс с добавлением стекловолокна (Glass Fiber Reinforced Gypsum). GFRG содержит 3-25% фибры длиной от 1 до 13 см и диаметром от 5,8 до 100 мкм. Водогипсовое соотношение лежит в пределах от 0,25 до 0,60 [82,83]. Стекловолокно повышает сопротивление состава к трещинообразованию, делает его более пластичным и удобоукладываемым. В композициях с использованием стекловолокна растягивающие напряжения воспринимают на себя фибра, что существенно повышает сопротивление такого материала растяжению и изгибу [84,85,86].

Подтверждением актуальности рассматриваемой темы служит неутихающий интерес к вопросу составов для 3D-печати, во многих странах уже ведутся разработки, позволяющие использовать 3D печать для возведения зданий и сооружений. На сегодняшний день ряд компаний достигли определённого успеха таблица 3.1.

Таблица 3.1–Добавки в составы улучшающие свойства бетона

Добавки в составы смесей	Результат	Рекомендуемый процент
1	2	3
Поликарбонат	Улучшение начального предела текучести	0.3
Известняк	Повышает прочность материала на сжатие и изгиб, а также улучшает удобоукладываемость бетона, что особенно ценно при экструзии бетона	-
Метакаолин	При введении его в цемент повышает прочность и долговечность, кроме того, частичная замена цемента	-

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
	метакаолином в цементном растворе и бетоне снижает объем пор, что способствует повышению морозостойкости.	
Микрокремнезем	Приводит к более плотной структуре бетона, повышению прочности на изгиб, уменьшению проницаемости структуры	10
Бентонитовая глина	Ускоряет процесс оседания мутящих частиц, в некоторой степени абсорбирует вещества, которые являются окислителями в данном продукте	6
Гашеная известь	Улучшает пластичность готовой смеси, а также увеличивает её стойкость к атмосферным воздействиям внешней среды	5.5
Медный купорос	Улучшает сцепление бетонной смеси	1
Полипропиленовая микрофибра	Работает как армирующий материал, а так же сдерживает усадочные трещины	0.69
Кварцитопесчанник	Улучшает прочностные качества готовых растворных смесей	8.33
Гипс	Улучшает пластичность растворной смеси	1.23
Базальтовая фибра	Работает как армирующий материал, а так же сдерживает усадочные трещины	0.74
Зола-унос	Улучшает химические характеристики цемента	9.9
Суперпластификатор ПФМ-НЛК	Добавка применяется в бетонных и растворных смесях, как пластифицирующая	0.76
Murarog Kombi 756	Добавка применяется в бетонных и растворных смесях, как пластифицирующая	0.18
«ЦЕНТРАМЕНТ Н10 конц»	Добавка применяется в бетонных и растворных смесях, как пластифицирующая	0.5 - 1.5
«Центрамент Н18»	Добавка пластификатор для бетонов и растворов.	0.5 - 1.5
«Центрамент П40»	Улучшает удобообрабатываемость бетонной смеси. При одинаковой консистенции возможно значительное снижение содержания воды в бетонной смеси, снижение водоцементного отношения и за счет этого,	0.2 - 1.5

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
	достижение более высокой плотности, прочности и долговечности бетона	
Centrament Stabi 520	Стабилизирующая добавка для бетонов и растворов представляет собой жидкость и может дозироваться обычными дозаторами	0.2 - 1.5
«МС-РАПИД 217Н» («МС-RAPID 217N»)	При бетонировании рекомендуется использовать составы с минимально возможным В/Ц за счет использования комплексного эффекта добавки.	0.2 – 4.0
«МС-ТехниФлоу 75» («МС-TechniFlow 75»)	Используется как для повышения удобоукладываемости смесей, так и для снижения расхода цемента или повышения прочности бетона.	0.7 – 2.0
«МС-ТехниФлоу 173конц» («МС-TechniFlow 173konz»)	Добавка используется как для повышения удобоукладываемости смесей, так и для снижения расхода цемента или повышения прочности бетона.	0.2 – 5.0
«МС-ТЕХНИФЛОУ 179Н»	Добавка используется как для повышения удобоукладываемости смесей, так и для снижения расхода цемента или повышения прочности бетона	0.2 – 4.0
Muraplast FK 48	Наибольший эффект действия добавки достигается при ее добавлении в бетонную смесь после короткого перемешивания остальных компонентов бетонной смеси с водой затворения	0.2 – 2.0
Muraplast FK 49	Наибольший эффект действия добавки достигается при ее добавлении в бетонную смесь после короткого перемешивания остальных компонентов бетонной смеси с водой затворения	0.2 – 2.0
«МУРАПОР КОМБИ 754» («MURAPOR KOMBI 754»)	Murapor Kombi 754 рекомендуется использовать для получения качественных кладочных растворов, в том числе с длительной жизнеспособностью. Очередность дозирования добавки не ограничивается. Добавка вводится как с водой затворения, так и после. Добавка эффективна при низких расходах цемента.	0.2 – 1.5

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
	При введении добавки значительно снижается расход воды затворения для получения требуемой пластичности.	
«МУРАПОР КОМ-БИ 756Р» («MURAPOR KOMBI 756R»)	Murapor Kombi 756R рекомендуется использовать для получения качественных кладочных растворов, в том числе с длительной жизнеспособностью. Очередность дозирования добавки не ограничивается. Добавка вводится как с водой затворения, так и после. Добавка эффективна при низких расходах цемента. При введении добавки значительно снижается расход воды затворения для получения требуемой пластичности.	0.2 – 1.5

3.2 Подбор состава для строительного 3D–принтера

В ходе аналитического подбора был выбран оптимальный состав рабочей смеси для технологии послойной укладки с применением строительного 3D–принтера (Таблица 3.2). Таблица с анализом наиболее подходящего состава для строительного 3D–принтера из существующих (Приложение В).

Таблица 3.2-Состав бетонной смеси для строительного 3D–принтера

Состав	Расход на мас. %	Планируемые свойства						
		Предел прочности при сжатии, Rc МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе, Rp МПа	Плотность, г/м ³	Ползучесть, по распылу кольца, см	Ползучесть по прибору Вика (h до низа), мм	Ползучесть по конусу, мм	Сроки схватывания, час. мин
В/Ц	0,02	52,0	7,8	2,050	6,75	9	5	2,4-3
Цемент	23,5							
Песок	50,33							
Вода	15,5							
Зола-унос	6,72							
МКР	-							
ВМК	3,36							
Известь гашенная	-							
Фибра	0,07							
St. RS	-							
St. 1267	0,5							

3.3 Технологическая карта на возведение вертикальных несущих конструкций с применением аддитивных технологий

Область применения

Технологическая карта (ТК) разработана на комплекс работ по укладке бетонной смеси строительным 3D–принтером в монолитную железобетонную конструкцию.

Технологическая карта предназначена для использования при разработке Проектов производства работ (ППР) а также с целью ознакомления рабочих и инженерно-технических работников с правилами производства бетонных работ.

Цель создания представленной ТК дать рекомендуемую схему технологического процесса по проведению бетонных работ, показать состав и содержание ТК.

Нормативной базой для разработки технологических карт являются: СНиП, СН, СП, ГЭСН-2001 ЕНиР, производственные нормы расхода материалов, местные прогрессивные нормы и расценки, нормы затрат труда, нормы расхода материально-технических ресурсов.

Применение ТК способствует улучшению организации производства, повышению производительности труда и его научной организации, снижению себестоимости, улучшению качества и сокращению продолжительности строительства, безопасному выполнению работ, организации ритмичной работы, рациональному использованию трудовых ресурсов и машин, а также сокращению сроков разработки ППР и унификации технологических решений.

В состав работ, последовательно выполняемых при производстве бетонных работ, входят:

- геодезические разбивочные работы;
- подача бетонной смеси;
- укладка бетонной смеси.

Машины и оборудование.

В данной ВКР используется строительный 3D принтер башенного типа со следующими основными техническими характеристиками:

- расположение внутри возводимого объекта;
- конструктивная схема по типу башенного крана с движущейся по стреле кареткой;
- площадь возводимого объекта без перестановки - 312 м²;

– радиус рабочей зоны полноразмерной модели – 7 м, так как радиуса рабочей зоны принтера не достаточно, будет 2 стоянки.

– максимальная высота подъема рабочего органа над точкой – не менее 3500 мм;

– приемлемая рабочая скорость движения – не менее 12 м/мин;

– стабилизация по горизонту;

– точность позиционирования рабочего органа – $\pm 0,5$ мм;

– возможность использования для перевозки стандартной строительной техники;

– монтаж установки за время менее 1 часа от начала работ до полной готовности к работе;

– возможность изменения расхода строительной смеси в зависимости от скорости печати.

Организация и выполнения работ

До начала бетонных работ должны быть выполнены следующие мероприятия:

– назначено лицо, ответственное за качественное и безопасное производство работ;

– проинструктированы члены бригады по технике безопасности, включая инструктаж по безопасности работ в охранных зонах действующих трубопроводов и ЛЭП;

– смонтирован объемный арматурный каркас;

– произведена геодезическая разбивка для укладки бетонной смеси;

– обозначены пути движения автобетоносмесителей и рабочая стоянка строительного 3D-принтера;

– доставлены в зону производства работ необходимые монтажные приспособления, инвентарь;

– инструменты и бытовой вагончик для отдыха рабочих.

Подъездные пути и дороги к монтажной площадке должны быть сооружены до начала бетонных работ и обеспечивать свободный доступ транспортных средств.

Ответственный от СМУ за безопасное производство работ автобетононасосом, должен принять подъездные пути и дороги к монтажной площадке, а также основание самой площадки. При приемке основания площадки лицо, ответственное за производство работ должно удостовериться, что:

–основание площадки способно выдерживать нагрузки до 0,4-0,5 МПа. Прочность основания площадки следует проверять любым современным методом. При свеженасыпанном, не утрамбованном грунте он должен быть уплотнен;

–основание площадки устойчиво к влиянию местных климатических факторов (не теряет несущей способности при обильных осадках, сохраняет свою пригодность при сильных морозах или жаре и т.п.);

–имеет водоотвод;

–поперечный и продольный уклоны площадки не должны превышать значений, указанных в паспорте автобетононасоса и не должны превышать 5°;

–для подъездных путей продольный уклон не должен превышать 0,09. Ширина проезжей части подъездных путей должна быть не менее 4 м, ширина обочин - не менее 0,75 м. Подъездные пути обустроены дорожными знаками “въезд”, “выезд”, “разворот”, “ограничение скорости”;

–поверхность площадки и подъездных путей должна быть ровной, без впадин, волн и бугров.

Просвет под рейкой длиной 3 м в продольном и поперечном направлениях не должен превышать 30-50 мм;

–монтажная площадка, участки работ, рабочие места, проезды и подходы к ним должны иметь освещенность, характеризующуюся следующими нормами:

–наименьшая освещенность - 10 лк;

–высота подвески лампы - 5 м;

–мощность светильников наружного освещения типа "Н" - 2 лампы по 300 Вт

–Эту приемку следует производить по Акту сдачи основания монтажной площадки и подъездных путей к ней.

Процесс укладки бетонной смеси состоит из рабочих операций, связанных с подачей ее в опалубку и уплотнения. До начала укладки бетонной смеси в опалубку необходимо проверить:

–качество очистки арматуры от налета ржавчины;

–правильность установки арматурных конструкций и закладных деталей;

–тщательность очистки бетонной подготовки от цементной пленки;

–выноску осей сооружения (краской) на арматурный каркас.

3.4 Выводы по организационно – технологическим решениям

В данной главе выпускной диссертационной работы был проведен анализ составов для строительного 3D–принтера из существующих. Рассмотрены добавки в составы улучшающие свойства бетона. В ходе аналитического подбора был выбран оптимальный состав рабочей смеси для технологии послойной укладки с применением строительного 3D–принтера. Помимо этого, была предложена технологическая карта на возведение вертикальных несущих конструкций с применением аддитивных технологий. Полученные данные при анализе составов и различных добавок для строительного 3D принтера могут служить исходными данными для выведения более универсального состава, который подходил бы под разные климатические условия. Также результаты проделанной работы могут использоваться в дальнейшем в качестве анализа для написания и составления методических рекомендаций, составления нормативной и технической литературы для проектирования домов с применением строительной 3D печати.

4 Экономическое обоснование строительства домов с применением строительной 3D печати

4.1 Локальный сметный расчет по 1 варианту (кирпичный остов здания)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 1

(локальная смета)

на кирпичный остов здания

(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 641,342 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 43,744 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 4506,71 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на _____ 2020 год

4.2 Локальный сметный расчет по 2 варианту (остов напечатанный на 3D принтере)

ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 2

(локальная смета)

на остов здания с применением аддитивных технологий в строительстве

(наименование работ и затрат, наименование объекта)

Основание:

Сметная стоимость строительных работ _____ 495,081 тыс. руб.

Средства на оплату труда _____ 43,744 тыс. руб.

Сметная трудоемкость _____ 4506,71 чел.час

Составлен(а) в текущих (прогнозных) ценах по состоянию на _____ 2020 год

4.3 Выводы по данным локальным сметам

Из данных локальных смет можно сделать вывод о том, что строительство индивидуального жилого дома с применением аддитивных технологий является более дешевым в сравнении с традиционным способом возведения индивидуальных домов.

Полный сметный расчет представлен по первой и по второй локальной смете (Приложение Г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе магистра (магистерской диссертации) по теме «Исследование строительства экспериментальных домов, в том числе по технологии 3D принтера» были проанализированы литературные источники (научные работы других авторов, диссертации, различные патенты, нормативная и учебная литературы) для определения актуальности данной темы в дальнейшем изучении.

Исходя из выполненного литературного критического обзора, было выяснено, что строительные аддитивные технологии развиваются уже давно во всем мире, также и в России. Актуальным вопросом на сегодняшний день является решение проблем с отсутствием нормативной и законодательной базы для строительства зданий с помощью 3D принтера которая ограничивает его применение для массовой застройки, поэтому крупные строительные компании не приобретают строительные принтеры. На сегодняшний день данные устройства применяются в основном для малоэтажного и малогабаритного индивидуального строительства, а также для изготовления малых архитектурных форм. Также отсутствует универсальная смесь для печати по причине того, что разные производители применяют различные бетонные смеси, экспериментируя с составом компонентов и их соотношением. В ходе выполнения литературного критического обзора было выступление с данным материалом в конференции «Перспектив Свободный - 2022».

В сравнительном анализе основных вертикальных несущих конструкций на примере индивидуального 2-х этажного жилого на 6 человек было проведено сравнение двух вариантов остовов здания 1 вариант (кирпичный остов здания), 2 вариант (остов напечатанный на 3D-принтере). В ходе сравнения был выполнен расчет стен по первому и второму варианту остова здания. Было проведено исследование по изучению возможностей печати различных конструкций стен, напечатанных на строительном 3D принтере. В результате одним из наиболее оптимальных вариантов стала синусоидальная

стена с диафрагмой жесткости. Помимо этого, был выполнен теплотехнический расчет ограждающих конструкций стены, напечатанной на строительном 3D принтере под климатические условия Республики Хакасии, а также выполнено сравнение ленточного фундамента из блоков ФБС с фундаментом напечатанном на строительном 3D принтере. Полученные результаты могут использоваться в аналитических целях для написания и составления методических рекомендаций, нормативной и технической литературы по проектированию.

В организационно – технологических решениях был проведен анализ составов для строительного 3D–принтера из существующих. Рассмотрены добавки в составы улучшающие свойства бетона. В ходе аналитического подбора был выбран оптимальный состав рабочей смеси для технологии послойной укладки с применением строительного 3D–принтера. Помимо этого, была предложена технологическая карта на возведение вертикальных несущих конструкций с применением аддитивных технологий. Полученные данные при анализе составов и различных добавок для строительного 3D принтера могут служить исходными данными для выведения более универсального состава, который подходил бы под разные климатические условия. Также результаты проделанной работы могут использоваться в дальнейшем в качестве анализа для написания и составления методических рекомендаций, составления нормативной и технической литературы для проектирования домов с применением строительной 3D печати.

Помимо всего прочего было выполнено экономическое обоснование строительства домов с применением строительной 3D печати.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мухаметрахимов Р.Х , Вахитов И.М. / Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера / 2017
2. Матюхина А.А., Ники-форова Н.А., Никулина А.С., Дементьев Ю.А., Лесниченко Е.Н., Чернышева Н.В. / ПРЕИМУЩЕСТВА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ 3D СТРОИТЕЛЬСТВА
3. Тюнина Е.О., Денисова Ю.В. / СТРОИТЕЛЬНЫЕ 3D ПРИНТЕРЫ
4. Крушельницкая Е.А., Огнев Н.В., Чжан Цзяньдун (Китайская Народная Республика), Се Ди (Китайская Народная Республика), Сулейманова Л.А.
5. Панеш З.А., Руденко О.Н. / ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ПРИНТЕРА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ
6. Курбатов В. Л., Дайронас М. В., Зай-ченко Марина / ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ / 2020
7. О.Л. Фиговский, А.З. Штейнбок, О.Б. Кукина / ТЕХНОЛОГИЯ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
8. Д.А. Лунева, Е.О. Кожевникова, С.В. Калошина / ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ / 2017
9. Алфимова Н.И., Лесовик В.С., Савин А.В., Шадский Е.Е. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №5 (88). С. 95-99.
10. Далинчук В.С., Власенко Д.А. Основные аспекты печати домов с помощью 3d принтера // Инновационное развитие. 2016. № 2 (2). С. 613.
11. Ивасюта А.В., Иванов Н.А. Перспективы использования технологии 3d-печати при строительстве зданий и сооружений // Научное обозрение. 2016. № 9. С. 52-55.

12. Копаница Н.О., Сорокина Е.А. Особенности формирования требований к строительно-техническим характеристикам бетонных смесей для 3d-печати // В сборнике: Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2016) материалы III Международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2016. С. 407-410.

13. Куприна А.А., Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Гинзбург А.В. Композиционные вяжущие для эффективных строительных растворов [Электронный ресурс] // Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук, Баженова Юрия Михайловича. Белгород. 2015.

14. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 1 (100). С. 9-16. 2. Малышева В.Л., Красимилова С.С. Возможности 3D принтера в строительстве // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. № 12-2. 2013.

15. Wong K. V., Hernandez A. A review of additive manufacturing. ISRN Mechanical Engineering. 2012. Т. 2012

16. Kuchler S. Additive Technology and Material Cognition: A View from Anthropology. Journal of Cognition and Culture. 2014. Т.14. №.5. С.385-399.

17. Herderick E. D. Additive Manufacturing in the Minerals, Metals, and Materials Community: Past, Present, and Exciting Future. JOM. 2016. Т.68. No. 3. С.721-723.

18. Bos F. et al. Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. Virtual and Physical Prototyping. 2016. Т.11. №.3. С.209-225

19. L. Xi-Qiang, L. Jing-Fang, Z. Tao, H. Liang, Z. Nan, L. Juan, L. Guoyou. Cement-based composite material used for 3D printing technology as well as preparation method and application thereof: пат. CN104310918A. 2014

20. Y. Tianrong, L Qiaoling. 3D printing cement-based material and preparation method thereof: пат. CN104891891A. 2015

21. F. Peng, M. Xinmiao. Fiber reinforced composite material reinforced 3D (three-dimensional) printing structure: пат. CN104309126A. 2014
22. L. Fu-Cai, W. Yi-Yuan, X. Min, L. Bin, Z. Xin-Zhen, H. Ming. High-performance powder concrete for 3D (three-dimensional) printing: пат. CN104961411A. 2015.
23. Khoshnevis B. Contour crafting extrusion nozzles: пат. US14/961,071. 2015.
24. Dini E. Method for automatically producing a conglomerate structure and apparatus therefor : пат. US8337736. 2012.
25. Dini E., Chiarugi M., Nannini R. Method and device for building automatically conglomerate structures : пат. 11/908,993 CIIA. 2006.
26. Campbell T., C. Williams, O. Ivanova. Could 3D printing change the world. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing, Atlantic Council, Washington, DC. 2011.
27. Kobryn P. A., Semiatin S. L. The laser additive manufacture of Ti-6Al-4V. JOM. 2001. T. 53. No. 9. C. 40-42.
28. Brennan-Craddock J. et al. The design of impact absorbing structures for additive manufacture. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2012. T. 382. №. 1.
29. Klammert U. et al. Cytocompatibility of brushite and monetite cell culture scaffolds made by three-dimensional powder printing. Acta Biomaterialia. 2009. T. 5. No. 2. C. 727-734.
30. Lim S. et al. Fabricating construction components using layered manufacturing technology. Global Innovation in Construction Conference. 2009. C. 512-520.
31. Horbach S. et al. Building blocks for adaptable factory systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2011. Vol. 27. No. 4. C. 735-740.
32. Müller E. Building Blocks as an Approach for the Planning of Adaptable Production Systems. Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics. Springer Berlin Heidelberg, 2010. C. 37-45.

33. Gibson I., Rosen D, Stucker B. Additive manufacturing technologies. New York: Springer, 2010. T.238.
34. Johnston, W. D. Design and Construction of Concrete Formwork. E. G.. Nawy (ed.), Concrete Construction Engineering Handbook. CRC Press, 2008. 7-1–7-49.
35. Lloret E. et al. Complex concrete structures: Merging existing casting techniques with digital fabrication. ComputerAided Design. 2015. No.60. C. 40-49.
36. Khoshnevis B. et al. Mega-scale fabrication by contour crafting. International Journal of Industrial and Systems Engineering. 2006. T.1. №.3. C.301-320.
37. N. Ramachandran, A. Gale. Space colonization. Aerospace America. 2008. T. 46, No.12, C. 77.
38. Pegna, J. Construction automation: Are we solving the wrong problem? RPI/RDRC Technical Report 92010. 1992
39. Pegna J. Exploratory investigation of solid freeform construction. Automation in construction. 1997. T. 5. No. 5. C. 427-437.
40. Khoshnevis B., Dutton R. Innovative rapid prototyping process makes large sized, smooth surfaced complex shapes in a wide variety of materials. Materials Technology. 1998. T.13. №.2. C.53-56.
41. Khoshnevis B. Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. Automation in construction. 2004. T. 13. No. 1. C. 5-19.
42. Hwang D., Khoshnevis B. Concrete wall fabrication by contour crafting. 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2004), Jeju, South Korea. 2004.
43. Perkins I., Skitmore M. Three-dimensional printing in the construction industry: A review. International Journal of Construction Management. 2015. T.15. №.1. C. 1-9.

44. Gardiner J. Exploring the emerging design territory of construction 3D printing-project led architectural research. 2011. 382c.
45. Tay Y. W. et al. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing. Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 861. C. 177-181.
46. Lim S. et al. Development of a viable concrete printing process. 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. 2011. C. 665-670.
47. Buswell R. A. et al. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. Automation in construction. 2007. Vol. 16. No. 2. C. 224-231.
48. Buswell R. A. et al. Design, data and process issues for mega-scale rapid manufacturing machines used for construction. Automation in Construction. 2008. Vol. 17. No. 8. C. 923-929.
49. Mahapatra S. S., Panda B. N. Benchmarking of rapid prototyping systems using grey relational analysis. International Journal of Services and Operations Management. 2013. Vol. 16. No. 4. C. 460-477.
50. Lim S. et al. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. Automation in construction. 2012. T. 21. C. 262-268.
51. Le T. T. et al. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. Materials and structures. 2012. T. 45. No. 8. C. 1221-1232.
52. Laurent, P., Erica, M., Laurent, F. and Safaâ, M. Advanced building materials, Bus. Innovaion Obs. 2014. Pp. 2–14.
53. Tibaut A., Rebolj D., Perc M. N. Interoperability requirements for automated manufacturing systems in construction. Journal of Intelligent Manufacturing. 2016. T. 27. No. 1. Pp. 251-262.
54. Cesaretti G. et al. Building components for an outpost on the Lunar soil by means of a novel 3D printing technology. Acta Astronautica. 2014. T. 93. C. 430-450.

55. Grugel R. N., Toutanji H. Sulfur “concrete” for lunar applications—Sublimation concerns. *Advances in Space Research*. 2008. T. 41. No. 1. C. 103-112.
56. Hager I., Golonka A., Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia Engineering*. 2016. No. 151. C. 292-299.
57. Le T. T. et al. Hardened properties of high-performance printing concrete. *Cement and Concrete Research*. 2012. T. 42. No. 3. C. 558-566.
58. Perrot A., Rängeard D., Pierre A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials and Structures*. 2016. T. 49. No. 4. C. 1213-1220.
59. Shahab A. R. et al. Smart dynamic casting or how to exploit the liquid to solid transition in cementitious materials //Proceedings CD od the 1st international conference on rheology and processing of construction materials and of the 7th international conference on self-compacting concrete, Paris, France. 2013.
60. Perrot A. et al. Use of ram extruder as a combined rheo-tribometer to study the behaviour of high yield stress fluids at low strain rate. *Rheologica acta*. 2012. T. 51. No. 8. C. 743-754.
61. Josserand L., Coussy O., de Larrard F. Bleeding of concrete as an ageing consolidation process. *Cement and concrete research*. 2006. T. 36. No. 9. C. 1603-1608.
62. Roussel N. Steady and transient flow behaviour of fresh cement pastes. *Cement and concrete research*. 2005. T. 35.No. 9. C. 1656-1664.
63. Roussel N. A thixotropy model for fresh fluid concretes: theory, validation and applications. *Cement and Concrete Research*. – 2006. T. 36. No. 10. C. 1797-1806.
64. Wallevik J. E. Rheological properties of cement paste: thixotropic behavior and structural breakdown. *Cement and Concrete Research*. 2009. T. 39. No. 1. C. 14-29.

65. Billberg P. Form pressure generated by self-compacting concrete. Proceedings of the 3rd international RILEM symposium on self-compacting concrete, RILEM PRO33 Reykjavik, Iceland. 2003. C. 271-280.
66. Lowke D, Kraßnkel T, Ghelen C, Schiessl P. Effect of cement type and superplasticizer adsorption on static yield stress, thixotropy and segregation resistance. Khayat K, Feys D (eds) Design, production and placement of self-consolidating concrete. Springer, Heidelberg. 2010
67. Ferron R. P. et al. Rheological method to evaluate structural buildup in self-consolidating concrete cement pastes. ACI materials journal. 2007. T. 104. No. 3. C. 242.
68. Perrot A. et al. Prediction of lateral form pressure exerted by concrete at low casting rates. Materials and Structures. 2015. T. 48. No. 7. C. 2315-2322.
69. Khoshnevis B. et al. Mega-scale fabrication by contour crafting. International Journal of Industrial and Systems Engineering. 2006. T. 1. No. 3. C. 301-320.
70. Zhang J., Khoshnevis B. Optimal machine operation planning for construction by Contour Crafting. Automation in Construction. 2013. No. 29. C. 50-67.
71. Bederina M., Makhloufi Z., Bouziani T. Effect of limestone fillers the physic-mechanical properties of limestone concrete. Physics Procedia. 2011. No. 21. C. 28-34.
72. Alhozaimy A. M. Effect of absorption of limestone aggregates on strength and slump loss of concrete. Cement and Concrete Composites. 2009. T. 31. No. 7. C. 470-473.
73. Голубева О. А., Потапова Е. Н. Влияние метаксаолина на свойства белого портландцемента // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. 28. №8 (157).
74. Duan P. et al. Enhancing microstructure and durability of concrete from ground granulated blast furnace slag and metakaolin as cement replacement materials // Journal of Materials Research and Technology. 2013. T. 2. No. 1. C. 52-59.

75. Стеенберг М. и др. Композиционный цемент на основе портланд-цемента, известняка и прокаленной глины // Цемент и его применение. 2012. № 9. С. 44-49.
76. Изотов В. С., Соколова Ю. А. Химические добавки для модификации бетона. Монография. М. : Изд-во «Палеотип», 2006. 244 с.
77. Камалова З. А. и др. Суперпластификаторы в технологии изготовления композиционного бетона // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 8. С. 148-152
78. Lim S. et al. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. Automation in construction. 2012. No. 21. С. 262-268.
79. Abdou M. I., Abuseda H. Upgrading offshore pipelines concrete coated by silica fume additive against aggressive mechanical laying and environmental impact. Egyptian Journal of Petroleum. 2016. Т. 25. No. 2. С. 193-199
80. Karahan O., Atis C. D. The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete. Materials & Design. 2011. Т. 32. No. 2. С. 1044-1049.
81. Malaeb Z. et al. 3D Concrete printing: machine and mix design. International Journal of Civil Engineering. 2015. Т. 6. No. 6.
82. Baehr D. O., Izard D. G. Method for the production of glass fiber-reinforced gypsum sheets and gypsum board formed therefrom : пат. 4265979 США. 1981.
83. Liu K., Wu Y. F., Jiang X. L. Shear strength of concrete filled glass fiber reinforced gypsum walls. Materials and Structures. 2008. Т. 41.No. 4.С. 649-662.
84. Серых И. Р., Панченко Л. А. Прочность стеклофибробетона // Научные труды Sworld. 2014. Т. 9. № 2. С. 43-47.
85. Kim G. B., Pilakoutas K., Waldron P. Development of thin FRP reinforced GFRC permanent formwork systems. Construction and Building Materials. 2008. Т. 22. № 11. С. 2250-2259.
86. M. Yi. 3D (Three-Dimensional) printing high-strength composite board: пат. CN 104328890 A. 2014

87. Ключев А.В., Ключев С.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Мелкозернистый фибробетон армированный полипропиленовым волокном // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2014. № 4. С. 67 – 72
88. Habert G., De Lacaillerie J. B. D. E., Roussel N. An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: reviewing current research trends. *Journal of Cleaner Production*. 2011. Т. 19. №. 11. С. 1229-1238.
89. Кузьмин С. Н. 3D принтеры. Рабочее поле и виды кинематических схем // Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2016 г. 2016. С. 94.
90. Mathieus G. J. Rotating nozzle : пат. 5617886 США. 1997.
91. Pearce J. M. et al. 3-D printing of open source appropriate technologies for self-directed sustainable development. *Journal of Sustainable Development*. 2010. Т. 3. №. 4. С. 17.
92. Малышева В. Л., Красимилова С. С. Возможности 3D принтера в строительстве // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 12-2.
93. Мустафин Н. Ш., Барышников А. А. Новейшие технологии в строительстве. 3D принтер // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. 2015. № 8 (12)
94. Savytskyi M. V., Shatov S. V., Ozhyshchenko O. A. 3D-printing of build objects. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 3 (216).
95. Шарманов В. В. и др. Трудности поэтапного внедрения BIM // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №10(37). С. 108-120.
96. Барабанщиков Ю. Г., Архарова А. А., Терновский М. В. Бетон с пониженной усадкой и ползучестью // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №7 (22). С. 152-165.
97. Di Carlo T., Khoshnevis B., Carlson A. Experimental And Numerical Techniques To Characterize Structural Properties Of Fresh Concrete. ASME 2013

International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineer. 2013. С. V009T10A062-V009T10A062.

98. Warszawski A., Navon R. Implementation of robotics in building: Current status and future prospects. Journal of Construction Engineering and Management. 1998. No.124(1). Pp. 31-41.

99. Ibrahim M. I. M. Estimating the sustainability returns of recycling construction waste from building projects. Sustainable Cities and Society. 2016. No.23. С. 78-93.

100. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении: Учебн. пособие. СПб.: СПбГУ, 2013. 221 с.

101. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 сентября 2015 г. N 1013 "О создании технического комитета по стандартизации "Аддитивные технологии" [Электронный ресурс]//Информационно-правовой портал Гарант.ру. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71074904/> (дата обращения 27.09.2016).

102. Hull C. W. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography : пат. 4575330 США. 1986.

103. Chen L. et al. The research status and development trend of additive manufacturing technology. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. С.1-10.

104. Вальтер А. В. Послойный синтез армированных объемных изделий //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. Т.2. №.12.

105. Каблов Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №. 5. С.7-17.

106. СП 55.13330.2011 «Здания жилые многоквартирные».

107. СНиП 31-02-2001 Дома жилые многоквартирные.

108. Федеральный закон от 22 июля 2008г. №123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
109. СП 1.13130.2009 "Эвакуационные пути и выходы".
110. СНиП 21-01-97* «Пожарная безопасность зданий и сооружений».
111. СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 (с Изменениями N 1-4).
112. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» №123Ф.З.
113. СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с Изменением N 1).
114. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» / Государственный комитет по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству, - М.2004 - 20 с.
115. СП 131.13330.2011 «Строительная климатология» - М.: Госстрой России, 2000. - 58 с.
116. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».
117. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81.
118. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2) / Официальное издание. М.: Минстрой России, 2015 год.

Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций

Расчёт 3-х слойной конструкции стены.

Согласно [114] при температуре внутреннего воздуха здания $t_{int}=20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\varphi_{int}=55\%$ влажностный режим помещения устанавливается, как нормальный.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче R_{o}^{TP} исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче (п. 5.2) [114] согласно формуле 1:

$$R_{o}^{mp}=a \cdot ГСОП + b \quad (1)$$

где a и b - коэффициенты, значения которых следует приниматься по данным таблицы 3 [114] для соответствующих групп зданий.

Так для ограждающей конструкции вида- наружные стены и типа здания -жилые $a=0.00035; b=1.4$.

Определим градусо-сутки отопительного периода ГСОП, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$ по формуле (2) [114].

$$\text{ГСОП}=(t_{в}-t_{от})z_{от} \quad (2)$$

где $t_{в}$ -расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{в}=20^{\circ}\text{C}$$

$t_{от}$ -средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ принимаемые по таблице 1 [114] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8°C для типа здания - жилые

$$t_{от}=-9.7^{\circ}\text{C}$$

$z_{от}$ -продолжительность, сут, отопительного периода принимаемые по таблице 1 [115] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 °С для типа здания – жилые.

$$z_{от}=225 \text{ сут.}$$

Тогда

$$ГСОП=(20-(-9.7))225=6683 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{сут} \quad (2)$$

По формуле в таблице 3 [114] определяем базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи $R_{от}^{тр}$ ($\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$).

$$R_{от}^{норм}=0.00035\cdot6683+1.4=3.74 \text{ м}^2\text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (3)$$

Поскольку населенный пункт Абакан относится к зоне влажности - нормальной, при этом влажностный режим помещения - нормальный, то в соответствии с таблицей 2 [114] теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации Б.

Схема конструкции ограждающей конструкции показана на рисунке 1.

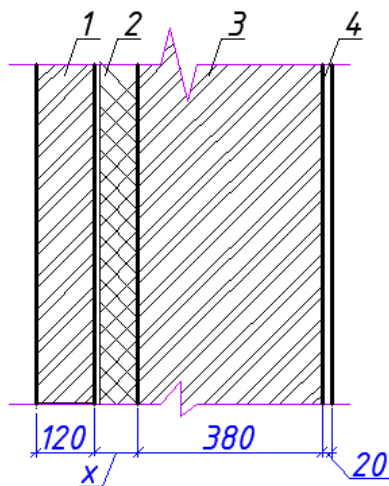


Рисунок 1–Схема ограждающей конструкции.

где 1- кладка из глиняного кирпича обыкновенного на ц.-п. р-ре, 2- утеплитель минераловатные плиты - KNAUF Therm Wall, 3- кладка из глиняного кирпича обыкновенного на ц.-п. р-ре, 4- Раствор известково-песчаный.

Значение характеристик материалов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Термическое сопротивление конструкции стены

Наименование материала	Толщина слоя δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ² °С	Плотность, кг/м ³
Кладка из глиняного кирпича обыкновенного (ГОСТ 530) на ц.-п. р-ре	0.12	0.81	1450
Утеплитель минераловатные плиты - KNAUF Therm Wall	x	0.034	30
Кладка из глиняного кирпича обыкновенного (ГОСТ 530) на ц.-п. р-ре	0.38	0.81	1450
Раствор известково-песчаный	0.02	0.81	1800

Определим нормы тепловой защиты по условию санитарии по формуле 4.

$$R_{red} = \frac{t_{int}-t_{ext}}{\Delta t_n \cdot \alpha_{unt}} = \frac{1 \cdot (20+38)}{4,5 \cdot 8,7} = \frac{58}{39,15} = 1,48 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт} \quad (4)$$

где n - коэффициент принятый по таблице 6 [114].

$\Delta t_n = 4,5$ нормируемый температурный перепад внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности, ограждающей конструкции таблица 5 [114].

$\alpha_{int} = 8,7^\circ\text{C}/\text{Вт}$ –коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей поверхности принимаем по табл.7 [116]. Из приведенных выше за требуемое сопротивление R_{red} из условия энергосбережения обозначаем $R_{0тр} = 3,16^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Для каждого слоя стены согласно рисунка 1 рассчитаем термическое сопротивление стены по формуле 5.

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (5)$$

где δ_i – толщина i -го слоя, м, λ_i – расчётный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{C}$;

$$R_1 = 0.12/0.81 = 0.15 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт} \quad (5)$$

$$R_3 = 0.38/0.81 = 0.47 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт} \quad (5)$$

Определяем минимально допустимое термическое сопротивление теплоизоляционного материала по формуле 6 [114].

$$R_{ут}^{тр} = R_{тр0} - (R_{int} - R_{ext} + \sum Ri) = 3.74 - \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 0.15 + 0.47 \right) = 2.97 \text{ м}^2\text{C} \quad (6)$$

где $R_{int} = 1/\alpha_{ext} = 23$ сопротивление теплоотдаче наружной поверхности ограждающих конструкций таблица 14 [114].

$\sum Ri$ -сумма термических слоев ограждающей конструкции

Найдем требуемую толщину утеплителя по формуле 7.

$$\delta_{yt}^{TP} = \lambda_{yt} \cdot R_{yt}^{TP} = 0.034 \cdot 2.97 = 0.1 \text{ м} = 120 \text{ мм} \quad (7)$$

где λ_{yt} - теплопроводность искомого слоя по таблице 1.

Определим термическое сопротивление стены по формуле 8.

$$R_0 = R_{int} + R_{ext} + \sum m, i = \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 0.41 + 0.67 + \frac{0.12}{0.034} \right) = 3,25 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (8)$$

Проверка по формуле 9.

$$R_0 = 3,95 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{tr0} = 3,74 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (9)$$

Условие выполняется, конструкцию можно применять по проведенному сопротивлению теплопередачи термотолщину $t = 120 \text{ мм}$.

Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций

Расчёт перекрытия.

Расчет произведен в соответствии с требованиями нормативных документов.

Согласно таблицы 1 [114] при температуре внутреннего воздуха здания $t_{int}=20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\varphi_{int}=55\%$ влажностный режим помещения устанавливается, как нормальный.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче Ro^{TP} исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче (п. 5.2) [114] согласно формуле 1:

$$Ro^{mp} = a \cdot ГСОП + b \quad (1)$$

где a и b - коэффициенты, значения которых следует приниматься по данным таблицы 3 [114] для соответствующих групп зданий.

Так для ограждающей конструкции вида-перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов) и типа здания - жилые $a=0.00045$; $b=1.9$.

Определим градусо-сутки отопительного периода ГСОП, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$ по формуле 2 [114].

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{от}) z_{от} \quad (2)$$

где t_b -расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, $^{\circ}\text{C}$
 $t_b=20^{\circ}\text{C}$

$t_{от}$ -средняя температура наружного воздуха, °C принимаемые по таблице 1 [115] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 °C для типа здания – жилые.

$$t_{ов} = -7.9 \text{ °C}$$

$z_{от}$ -продолжительность, сут, отопительного периода принимаемые по таблице 1 [115] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 °C для типа здания – жилые.

$$z_{от} = 233 \text{ сут.}$$

Тогда

$$GСОП = (20 - (-7.9)) \cdot 233 = 6500.7 \text{ °C} \cdot \text{сут} \quad (2)$$

По формуле в таблице 3 [114] определяем базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи $R_{о\text{т}p}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$).

$$R_{о\text{т}p}^{\text{норм}} = 0.00045 \cdot 6500.7 + 1.9 = 4.83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} \quad (3)$$

Поскольку населенный пункт город Абакан относится к зоне влажности - нормальной, при этом влажностный режим помещения - нормальный, то в соответствии с таблицей 2 [114] теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации Б.

Схема конструкции ограждающей конструкции показана на рисунке 1:

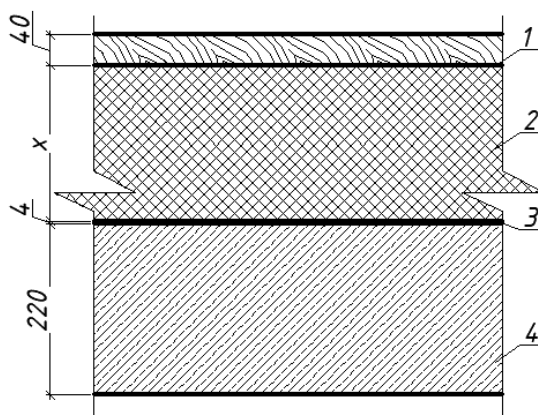


Рисунок 1–Схема ограждающей конструкции.

где 1- сосна и ель вдоль волокон, 2- утеплитель минераловатные плиты - KNAUF Therm Roof, 3- пароизоляция–пленка Ютафолд Д, 4- железобетон.

Значение характеристик материалов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Термическое сопротивление конструкции перекрытия

Наименование материала	Толщина слоя δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ² °С	Плотность ρ , кг/м ³
Сосна и ель вдоль волокон	0.04	0.35	520
Утеплитель минераловатные плиты - KNAUF Therm Roof	x	0.034	30
Пароизоляция–пленка Ютафолд Д	0.002	0.17	100
Железобетон	0.22	2.04	2500

Определим нормы тепловой защиты по условию санитарии по формуле 4.

$$R_{red} = \frac{t_{int}-t_{ext}}{\Delta t_n \cdot \alpha_{unt}} = \frac{1 \cdot (20+38)}{4,5 \cdot 8,7} = \frac{58}{39,15} = 1,48 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт} \quad (4)$$

где n - коэффициент принятый по таблице 6 [114].

$\Delta t_n = 4,5$ нормируемый температурный перепад внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности, ограждающей конструкции таблице 5 [114].

$\alpha_{int} = 8,7^\circ\text{C}/\text{Вт}$ –коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей поверхности принимаем по таблице 7 [116]. Из приведенных выше за требуемое сопротивление R_{red} из условия энергосбережения обозначаем $R_{0tp} = 3,16^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Для каждого слоя стены согласно рисунка 1 считаем термическое сопротивление стены по формуле 5.

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (5)$$

где δ_i – толщина i -го слоя, м, λ_i – расчётный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{C}$;

$$R_1 = 0.22/2.04 = 0.1 \text{ м}^2\text{C}/\text{Вт} \quad (5)$$

Определяем минимально допустимое термическое сопротивление теплоизоляционного материала по формуле 6 [114].

$$R_{ут}^{tp} = R_{tp0} - (R_{int} - R_{ext} + \sum Ri) = 4.83 - \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 0.1 \right) = 4.58 \text{ м}^2 \text{ C} \quad (6)$$

где $R_{int} = 1/\alpha_{ext} = 23$ сопротивление теплоотдаче наружной поверхности ограждающих конструкций по таблице 14 [114].

$\sum Ri$ -сумма термических слоев ограждающей конструкции

Найдем требуемую толщину утеплителя по формуле 7.

$$\delta_{\text{ут}}^{\text{тп}} = \lambda_{\text{ут}} \cdot R_{\text{ут}}^{\text{тп}} = 0.034 \cdot 4.58 = 0.16 \text{ м} = 200 \text{ мм} \quad (7)$$

где $\lambda_{\text{ут}}$ - теплопроводность искомого слоя по таблице 1.

Определим термическое сопротивление стены по формуле 8.

$$R_0 = R_{\text{int}} + R_{\text{ext}} + \sum m, i = \left(\frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 0.41 + 0.67 + \frac{0.2}{0.034} \right) = 4.98 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (8)$$

Проверка по формуле 9.

$$R_0 = 4.98 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} > R_{\text{тп}0} = 4.83 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (9)$$

Условие выполняется, конструкцию можно применять по проведенному сопротивлению теплопередачи термотолщину $t = 200 \text{ мм}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В1 – Анализ имеющихся составов бетонных смесей для строительного 3D-принтера

№ п/п	Состав	Расход на мас. %	Свойства									Разработчик
			Предел прочности при сжатии, R _c МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе, R _p МПа	Водопоглощение, %	Водопоглощение пр капиллярном подсосе, кг/(м)	Плотность, г/м ³	Подвижность по распылу кольца, см	Подвижность по прибору Вика (h до низа), мм	Подвижность по погружению конуса, мм	Сроки схватывания, час. мин	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Портландцемент	25	4,27	1,82	15,2	2,8	-		-	-	-	-
	Бентовая глина	6										
	Костный клей	2										
	Гашеная известь	5,5										
	Медный купорос	1										
	Суперпластификатор	0,79										
	Полипропиленовая микрофибра	0,69										
	Дисперсный песок	40,02										
	Вода	19										
2	В/Ц	0,02	52,0	7,8	-	-	2,050	6,75	9	5	2,4-3	-
	Цемент	23,5										
	Песок	50,33										
	Вода	15,5										
	Зола-унос	6,72										
	МКР	-										
	ВМК	3,36										
	Известь гашеная	-										

Продолжение таблицы В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Фибра	0,07										
	St. RS	-										
	St. 1267	0,5										
3	Цемент	25,55	46,5	8,51	-	-	-	-	-	-	-	Шорсто- ва Е.С, Клюев С.В, Клюев А.В
	Кварцитопесча- ник	8,33										
	Mugaror Kombi 756	0,49										
	Гипс	1,23										
	Песок	54,8										
	Вода	9,86										
	Базальтовая фибра	0,74										
4	Портландцемент	24,55	27,4	1,3	7,46	-	-	-	-	-	1,1- 1,5	Полуэк- това В.А, Шапо- валов Н.А, Черни- ков Р.О, Евту- шенко Е.И
	Песок	61,38										
	Поливинилаце- татная дисперсия	2,45										
	Жидкое стекло	1,72										
	Фиброволокно полипропилено- вое	0,03										
	Флороглюцин- фурфурольный модификаьор	0,05										
	Вода	9,82										
5	Портландцемент	34,16	22,4	0,6	8,52	-	-	-	-	-	1,05 -1,5	Полуэк- това В.А, Шапо- валов Н.А, Черни- ков Р.О, Евту- шенко Е.И
	Песок	50,74										
	Поливинилаце- татная дисперсия	2,56										
	Жидкое стекло	1,7										
	Фиброволокно полипропилено- вое	0,02										
	Флороглюцин- фурфурольный модификаьор	0,05										

Продолжение таблицы В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Вода	10,77										
6	Портландцемент	24,37	19,3	0,9	7,73	-	-	-	-	-	0,48 -1,2	Полуэк- това В.А, Шапо- валов Н.А, Черни- ков Р.О, Евту- шенко Е.И
	Песок	61,38										
	Поливинилаце- татная дисперсия	2,44										
	Жидкое стекло	2,44										
	Фиброволокно полипропилено- вое	0,03										
	Флороглюцин- фурфурольный модификаьор	0,07										
	Вода	9,27										
7	Портландцемент	23	3,33	1,55	15,8	3,1	-		-	-	-	-
	Бетонированная глина	8										
	Костный клей	1,75										
	Гашеная известь	6,5										
	Медный купорос	0,75										
	Суперпластифи- катор	0,72										
	Полипропилено- вая микрофибра	0,68										
	Дисперсный пе- сок	38,6										
	Вода	20										
8	Портландцемент	21	2,91	1,36	16,1	3,7	-		-	-	-	-
	Бетонированная глина	10										
	Костный клей	1,5										
	Гашеная известь	7,5										
	Медный купорос	0,5										
	Суперпластифи- катор	0,65										
	Полипропилено-	0,67										

Продолжение таблицы В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	вая микрофибра											
	Дисперсный песок	37,18										
	Вода	21										
9	Портландцемент	19	2,2	0,89	18,1	5,1	-		-	-	-	-
	Бетонированная глина	12										
	Костный клей	1,5										
	Гашеная известь	8,5										
	Медный купорос	0,5										
	Суперпластификатор	0,59										
	Полипропиленовая микрофибра	0,67										
	Дисперсный песок	35,24										
	Вода	22										
10	Портландцемент	17	1,9	0,52	19,8	5,6	-		-	-	-	-
	Бетонированная глина	14										
	Костный клей	1,5										
	Гашеная известь	9,5										
	Медный купорос	0,5										
	Суперпластификатор	0,55										
	Полипропиленовая микрофибра	0,67										
	Дисперсный песок	33,28										
	Вода	23										
11	Портландцемент	44	1,9	0,43	21,6	6,8	-		-	-	-	-
	Бетонированная глина	18										
	Костный клей	1,75										

Продолжение таблицы В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Гашеная известь	11,5										
	Медный купорос	0,75										
	Суперпластификатор	-										
	Полипропиленовая микрофибра	-										
	Дисперсный песок	-										
	Вода	24										
12	В/Ц	0,02	33	6,2	-	-	1,984	6,4	25	3,15	3-4	-
	Цемент	23,5										
	Песок	50,33										
	Вода	15,5										
	Зола-унос	10,08										
	МКР	-										
	ВМК	-										
	Известь гашенная	-										
	Фибра	0,17										
	St. RS	-										
	St. 1267	0,4										
13	В/Ц	0,02	41,5	6	-	-	1,984	6,6	40	3,25	4-6,30	-
	Цемент	23,64										
	Песок	50,63										
	Вода	15,2										
	Зола-унос	10,1										
	МКР	-										
	ВМК	-										
	Известь гашенная	-										
	Фибра	0,05										
	St. RS	0,35										
	St. 1267	-										

Продолжение таблицы В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	В/Ц	0,02	49	7,5	-	-	2,117	6,4	40	3,05	4,30 -6	-
	Цемент	23,5										
	Песок	51,06										
	Вода	17,5										
	Зола-унос	7,85										
	МКР	-										
	ВМК	-										
	Известь гашенная	-										
	Фибра	0,07										
	St. RS	-										
	St. 1267	-										
15	В/Ц	0,02	40,8	4,9	-	-	1,974	8	2	8,65	-	-
	Цемент	22,9										
	Песок	49,5										
	Вода	17,04										
	Зола-унос	9,9										
	МКР	-										
	ВМК	-										
	Известь гашенная	-										
	Фибра	0,05										
	St. RS	0,34										
	St. 1267	-										
16	В/Ц	0,03	29,4	4,6	-	-	1,957	6,75	2	5,3	3- 3,40	-
	Цемент	15,7										
	Песок	47,07										
	Вода	17,04										
	Зола-унос	-										
	МКР	-										
	ВМК	9,82										
	Известь гашенная	9,82										

Продолжение таблицы В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Фибра	0,05										
	St. RS	-										
	St. 1267	0,47										
17	В/Ц	0,03	39,2	4,7	-	-	1,967	7,05	40	3,83	2,30	-
	Цемент	22,5									-	
	Песок	48,2									3,50	
	Вода	19										
	Зола-унос	-										
	МКР	6,38										
	ВМК	3,84										
	Известь гашенная	-										
	Фибра	0,05										
	St. RS	-										
	St. 1267	0,47										
18	Цемент	25,4	43	8,28	-	-	-	-	-	-	-	Шорстова Е.С, Клюев С.В, Клюев А.В
	Кварцитопесчаник	8,6										
	Песок	56,7										
	Суперпластификатор ПФМ-НЛК	0,76										
	Вода	7,7										
	Базальтовая фибра	0,76										
19	Цемент	24,88	42,9	8,29	-	-	-	-	-	-	-	Шорстова Е.С, Клюев С.В, Клюев А.В
	Кварцитопесчаник	8,44										
	Гипс	0,75										
	Песок	55,5										
	Суперпластификатор ПФМ-НЛК	0,75										
	Вода	8,89										
	Базальтовая фибра	0,75										

Продолжение таблицы В1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
20	Цемент	25,2	43,5	8,44	-	-	-	-	-	-	-	Шорсто- ва Е.С, Клюев С.В, Клюев А.В
	Кварцитопесча- ник	8,6										
	Мигарог Kombi 756	0,18										
	Песок	56,3										
	Вода	9										
	Базальтовая фибра	0,8										
21	Цемент	25,2	43,2	8,32	-	-	-	-	-	-	-	Шорсто- ва Е.С, Клюев С.В, Клюев А.В
	Кварцитопесча- ник	8,6										
	Мигарог Kombi 756	0,68										
	Песок	56,3										
	Вода	8,4										
	Базальтовая фибра	0,8										
22	Цемент	25,1	44,1	8,43	-	-	-	-	-	-	-	Шорсто- ва Е.С, Клюев С.В, Клюев А.В
	Кварцитопесча- ник	8										
	Мигарог Kombi 756	1,12										
	Песок	56,3										
	Вода	9,1										
	Базальтовая фибра	0,8										

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г1 – Сметная стоимость строительства кирпичного вертикального остова здания

№ пп	Обо сно ва- ние	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				
					Все- го	В том числе		Все- го	В том числе			
						Осн. З/п	Эк.М аш.		З/п Мех	Ос н.З /п	Эк. Ма ш.	З/п Мех
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Земленные работы												
1	ФЕ Р01 -01- 004- 01	Разработка грунта в отвал экскаваторами "драглайн" или "обратная ло- пата" с ковшом вместимостью 0,4 (0,3-0,45) м3, группа грунтов: 1 (учебный при- мер) <i>НР (119 руб.): 95% от ФОТ (125 руб.) СП (63 руб.): 50% от ФОТ (125 руб.)</i>	1000 м3 грун та	0,28 2	3017 ,01	51,6 4	2965, 37	388, 67	851	15	836	110
2	ФЕ Р01 -01- 014- 01	Разработка грунта с по- грузкой на ав- томобили- самосвалы экс- каваторами с ковшом вме- стимостью 0,4	1000 м3 грун та	0,37 8	4570 ,29	128, 5	4438, 57	643, 55	1728	49	167 8	243

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		(0,35-0,45) м3, группа грун- тов: 1 (учебный пример) <i>НР (277 руб.):</i> <i>95% от ФОТ</i> <i>(292 руб.)</i> <i>СП (146 руб.):</i> <i>50% от ФОТ</i> <i>(292 руб.)</i>										
3	ФЕ Р01 -02- 058- 01	Дороботка грунта в руч- ную: 1 (учеб- ный пример) <i>НР (22 руб.):</i> <i>80% от ФОТ</i> <i>(28 руб.)</i> <i>СП (13 руб.):</i> <i>45% от ФОТ</i> <i>(28 руб.)</i>	100 м3 грун та	0,02	1411 ,8	1412			28	28		
4	ФС СЦ пг- 03- 21- 01- 010 <i>При</i> <i>каз</i> <i>Мин</i> <i>стр</i> <i>оя</i> <i>Рос</i> <i>сии</i> <i>от</i> <i>26.1</i> <i>2.20</i>	Перевозка гру- зов автомоби- лями- самосвалами грузоподъем- ностью 10 т работающих вне карьера на расстояние: I класс груза до 10 км <i>НР 0% от ФОТ</i> <i>СП 0% от ФОТ</i>	1 т гру- за	453, 6	11,4 2		11,42		5180		518 0	

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	19 №8 76/n р											
Раздел 2. Нулевой цикл												
5	ФЕ Р11 -01- 002- 03 Изм . . вып .1	Устройство подстилающих слоев: гравийных (учебный пример) НР (926 руб.): 123% от ФОТ (753 руб.) СП (565 руб.): 75% от ФОТ (753 руб.)	1 м3 подсти- ла- юще го слоя	30	203,68	19,58	54,07	5,54	6110	587	1622	166
6	ФЕ Р07 -05- 001- 02	Установка подушек фунда- ментных мас- сой: до 1 т (учебный при- мер) НР (622 руб.): 155% от ФОТ (401 руб.) СП (401 руб.): 100% от ФОТ (401 руб.)	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,41	4789,46	648,1	2857,72	328,05	1964	266	1172	135
7	ФЕ Р07 -05- 001- 01	Установка бло- ков стен подва- лов массой: до 0,5 т (учебный пример) НР (467 руб.): 155% от ФОТ (301 руб.) СП (301 руб.):	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,43	3367,6	461,8	2036,02	236,66	1448	199	875	102

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		100% от ФОТ (301 руб.)										
8	ФЕ Р07 -05- 001- 02	Установка бло- ков стен подва- лов массой: до 1 т (учебный пример) НР (1452 руб.): 155% от ФОТ (937 руб.): СП (937 руб.): 100% от ФОТ (937 руб.)	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,96	4789 ,46	648, 1	2857, 72	328, 05	4598	62 2	274 3	315
9	ФЕ Р07 -05- 001- 03	Установка бло- ков стен подва- лов массой: до 1,5 т (учебный пример) НР (1845 руб.): 155% от ФОТ (1190 руб.): СП (1190 руб.): 100% от ФОТ (1190 руб.)	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,83	7276 ,92	933	4528, 54	501, 53	6040	77 4	375 9	416
10	СЦ М- 440- 900 1- 212	Блоки бетон- ные для стен подвалов ФБС 9-4-6	ШТ									
11	СЦ М- 440- 900 1- 217	Блоки бетон- ные для стен подвалов ФБС 12-4-6	ШТ		142, 46							

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	ФЕ Р06 -01- 024- 01	Устройство стен подвалов и подпорных стен: бетонных (учебный при- мер) <i>НР (715 руб.):</i> <i>105% от ФОТ</i> <i>(681 руб.)</i> <i>СП (443 руб.):</i> <i>65% от ФОТ</i> <i>(681 руб.)</i>	100 м3 бе- то- на, бу- то- бе- тона и же- ле- зо- бе- тона в деле	0,2	6568 3,2	3129	2028, 34	277, 17	1313 7	62 6	406	55
13	ФЕ Р08 -01- 003- 07	Гидроизоляция боковая: обма- зочная битум- ная в 2 слоя по выравненной поверхности бутовой клад- ки, кирпичу, бетону (учеб- ный пример) <i>НР (495 руб.):</i> <i>122% от ФОТ</i> <i>(406 руб.)</i> <i>СП (325 руб.):</i> <i>80% от ФОТ</i> <i>(406 руб.)</i>	100 м2 изо- ли- ру- емо й по- верх- но- сти	1,99	1173 ,88	201, 8	73,58	2,12	2336	40 2	146	4
14	ФЕ Р11 -01- 014-	Устройство по- лов бетонных толщиной: 100 мм (учебный	100 м3 пола	0,1	7216 ,1	291, 7	93,67		722	29	9	

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	01	пример) НР (36 руб.): 123% от ФОТ (29 руб.) СП (22 руб.): 75% от ФОТ (29 руб.)										
15	ФЕ Р11 -01- 004- 05	Устройство гидроизоляции обмазочной: в один слой (учебный пример) НР (357 руб.): 123% от ФОТ (290 руб.) СП (218 руб.): 75% от ФОТ (290 руб.)	100 м2 изолируемой поверхно-сти	0,97	1145,3	295,1	157,6	4,55	1111	286	153	4
16	ФЕ Р06 -01- 041- 01	Устройство перекрытий безбалочных толщиной до 200 мм, на высоте от опорной площади: до 6 м (учебный пример) НР (903 руб.): 105% от ФОТ (860 руб.) СП (559 руб.): 65% от ФОТ (860 руб.)	100 м3 в деле	0,1	146604	8198	2741,73	400,97	14660	820	274	40
17	ФЕ Р26 -01-	Изоляция изделиями из пенопласта на би-	100 м2 изо-	1,99	1438,7	177,5	40,8		2863	353	81	

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	041-01	туме: стен и колонн прямоугольных (учебный пример) <i>НР (353 руб.): 100% от ФОТ (353 руб.)</i> <i>СП (247 руб.): 70% от ФОТ (353 руб.)</i>	ля-ции									
18	ФЕ Р01-01-033-01	Засыпка траншей и котлованов с перемещением грунта до 5 м бульдозерами мощностью: 59 (80) кВт (л.с.), 1 группа грунтов (учебный пример) <i>НР (26 руб.): 95% от ФОТ (27 руб.)</i> <i>СП (14 руб.): 50% от ФОТ (27 руб.)</i>	1000 м3 грунта	0,262	466,56		466,56	102,6	122		122	27
19		СТОИМОСТЬ ПГС		309,16								
20	ФЕ Р01-02-005-01	Уплотнение грунта пневматическими трамбовками, группа грунтов: 1, 2 (учебный пример) <i>НР (404 руб.):</i>	100 м3 упл. отн. грунта	3,0916	440,28	106,9	333,4	30,58	1361	330	1031	95

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		95% от ФОТ (425 руб.) СП (213 руб.): 50% от ФОТ (425 руб.)										
21	ФЕ Р06 -01- 013- 01	Устройство монолитной отмостки тол- щиной 15 мм (учебный при- мер) НР (44 руб.): 105% от ФОТ (42 руб.) СП (27 руб.): 65% от ФОТ (42 руб.)	100 м2 под лив- ки под обо- ру- до- ва- ние	0,10 3	1957 ,4	410, 7	13,95	1,08	202	42	1	
22	ФЕ Р06 -01- 035- 01	Устройство по- ясов: в опалуб- ке (учебный пример) НР (1311 руб.): 105% от ФОТ (1249 руб.) СП (812 руб.): 65% от ФОТ (1249 руб.)	100 м3 же- ле- зо- бе- тона в деле	0,12 4	1629 22	9116	8036, 61	958, 65	2020 2	11 30	997	119
Раздел 3. Надземная часть												
23	ФЕ Р08 -02- 010- 25 При каз Мин стр	Кладка наруж- ных стен из кирпича с цеп- ной перевязкой швов с обли- цовкой с одной стороны лице- вым кирпичом: толщиной 640	м3	174, 3	81,7 3	52,7	27,65	4,32	1424 6	91 86	481 9	753

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/п р	мм при высоте этажа до 4 м НР (12126 руб.): 122% от ФОТ (9939 руб.) СП (7951 руб.): 80% от ФОТ (9939 руб.)										
24	ФС СЦ- 04.3 .01. 12- 000 4 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/п р	Раствор кла- дочный, це- ментно- известковый, М75	м3	42,7	519, 8				2219 5			
25	ФС СЦ- 06.1 .01. 05- 003	Кирпич кера- мический оди- нарный, размер 250x120x65 мм, марка 25	1000 шт	47,7 6	915, 38				4371 9			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р											
26	ФС СЦ- 06.1 .01. 05- 001 4 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	Кирпич кера- мический ли- цевой, размер 250x120x65 мм, марка 75	1000 шт	20,5 7	1536 ,1				3159 8			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27	ФЕ Р08 -02- 001- 07 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	Кладка стен кирпичных внутренних: при высоте этажа до 4 м <i>НР (1020 руб.): 122% от ФОТ (836 руб.) СП (669 руб.): 80% от ФОТ (836 руб.)</i>	м3	20	72,5 6	36,4	34,56	5,4	1451	72 8	691	108
28	ФС СЦ- 04.3 .01. 12- 000 4 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19</i>	Раствор кла- дочный, це- ментно- известковый, М75	м3	4,68	519, 8				2433			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	№8 76/n р											
29	ФС СЦ- 06.1 .01. 05- 003 1 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	Кирпич кера- мический оди- нарный, размер 250x120x65 мм, марка 25	1000 шт	7,6	915, 38				6957			
30	ФЕ Р08 -02- 002- 03 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от</i>	Кладка перего- родок из кир- пича: армиро- ванных толщи- ной в 1/2 кир- пича при высо- те этажа до 4 м <i>НР (2397 руб.): 122% от ФОТ (1965 руб.) СП (1572 руб.): 80% от ФОТ (1965 руб.)</i>	100 м2	1,54	2406 ,41	1220	361,6 7	56,6 5	3706	18 78	557	87

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	26.1 2.20 19 №8 76/n р											
31	ФС СЦ- 04.3 .01. 12- 000 4 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	Раствор кла- дочный, це- ментно- известковый, М75	м3	3,54	519, 8				1840			
32	ФС СЦ- 06.1 .01. 05- 003 1 При каз Мин	Кирпич кера- мический оди- нарный, размер 250x120x65 мм, марка 25	1000 шт	7,7	915, 38				7048			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	<i>стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>											
33	ФЕ Р08 -02- 010- 21 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	Кладка наруж- ных стен из кирпича с цеп- ной перевязкой швов с обли- цовкой с одной стороны лице- вым кирпичом: толщиной 380 мм при высоте этажа до 4 м <i>НР (2738 руб.): 122% от ФОТ (2244 руб.) СП (1795 руб.): 80% от ФОТ (2244 руб.)</i>	м3	31,3	100, 04	66,6 9	31,97	5	3131	20 87	100 1	157
34	ФС СЦ- 04.3 .01. 12- 000 4	Раствор кла- дочный, це- ментно- известковый, М75	м3	7,32	519, 8				3805			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	<i>Приказ Минстроя России от 26.1 2.20 19 №8 76/п р</i>											
35	ФС СЦ- 06.1 .01. 05- 003 1 <i>Приказ Минстроя России от 26.1 2.20 19 №8 76/п р</i>	Кирпич керамический одинарный, размер 250x120x65 мм, марка 25	1000 шт	6,19 7	915, 38				5673			
36	ФС СЦ-	Кирпич керамический ли-	1000 шт	6,16 6	1536 ,1				9472			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	06.1 .01. 05- 001 4 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	цевой, размер 250x120x65 мм, марка 75										
37	ФЕ Р08 -02- 003- 01	Кладка дымо- вых труб (учебный при- мер) $945,52 =$ $1\ 002,02 - 0,01 \times$ $5\ 650,00$ <i>НР (107 руб.):</i> <i>122% от ФОТ</i> <i>(88 руб.)</i> <i>СП (70 руб.):</i> <i>80% от ФОТ</i> <i>(88 руб.)</i>	1 м3 клад ки	1	945, 52	82,8 1	40,06	4,97	946	83	40	5
38	ФЕ Р07 -05- 007- 10	Укладка пере- мычек до мас- сой 0,3 т (учеб- ный пример) <i>НР (126 руб.):</i>	100 шт. сбор ных кон-	0,29	1068 ,37	153, 9	784,5 1	122, 58	310	45	228	36

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		<i>155% от ФОТ (81 руб.) СП (81 руб.): 100% от ФОТ (81 руб.)</i>	стру кци й									
39	СЦ М- 442- 500 1	Перемычки железобетонные брусковые	МЗ		1896 ,4							
40	ФЕ Р07 -05- 007- 10	Укладка перемычек до массой 0,3 т (учебный пример) <i>НР (141 руб.): 155% от ФОТ (91 руб.) СП (91 руб.): 100% от ФОТ (91 руб.)</i>	100 шт. сборных конструкций	0,33	1068 ,37	153, 9	784,5 1	122, 58	353	51	259	40
41	ФЕ Р07 -05- 011- 06	Установка панелей перекрытий с опиранием на 2 стороны площадью: до 15 м2 (учебный пример) <i>НР (1784 руб.): 155% от ФОТ (1151 руб.) СП (1151 руб.): 100% от ФОТ (1151 руб.)</i>	100 шт. сборных конструкций	0,32	1239 4	2985	4318, 58	613, 04	3966	95 5	138 2	196

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
42	ФЕ Р06 -01- 041- 01	Устройство перекрытий безбалочных толщиной до 200 мм, на высоте от опорной площади: до 6 м (учебный пример) <i>140 106,79 =</i> <i>146 604,37 -</i> <i>28,56 x 86,40 -</i> <i>0,5 x 8 060,00</i> <i>НР (2415 руб.):</i> <i>105% от ФОТ (2300 руб.)</i> <i>СП (1495 руб.):</i> <i>65% от ФОТ (2300 руб.)</i>	100 м3 в деле	0,28	1401 07	8198	274,1 5	15,4 1	3923 0	22 96	77	4
43	ФЕ Р26 -01- 039- 01 <i>Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №8 76/n</i>	Изоляция покрытий и перекрытий изделиями из волокнистых и зернистых материалов насыхо <i>НР (118 руб.):</i> <i>100% от ФОТ (118 руб.)</i> <i>СП (83 руб.):</i> <i>70% от ФОТ (118 руб.)</i>	м3	1,13	138, 76	98,2 9	40,47	6,38	157	11 1	46	7

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	<i>p</i>											
44	ФС СЦ- 12.2 .05. 11- 002 3 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n p</i>	Плиты или ма- ты теплоизоля- ционные	м3	1,15	542, 4				624			
45	ФЕ Р12 -01- 015- 03	Устройство па- роизоляции прокладочной: в один слой (учебный при- мер) <i>НР (94 руб.): 120% от ФОТ (78 руб.) СП (51 руб.): 65% от ФОТ (78 руб.)</i>	100 м2 изо- ли- ру- емо й по- верх но- сти	1,11	950, 92	68,5 8	30,84	2,22	1056	76	34	2
46	ФЕ	Укладка ходо-	100	0,2	301,	31,8	11,98	1,27	60	6	2	

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	P10-01-023-01	вых досок (учебный пример) <i>НР (7 руб.): 118% от ФОТ (6 руб.)</i> <i>СП (4 руб.): 63% от ФОТ (6 руб.)</i>	мходов		54	4						
47	ФЕ P10-01-034-03 <i>Доп .1</i>	Установка в жилых и общественных зданиях оконных блоков из ПВХ профилей поворотных (откидных, поворотно-откидных) с площадью проема до 2 м2 одностворчатых (учебный пример) <i>16 199,34 = 127 514,34 - 100 x 1 113,15</i> <i>НР (1894 руб.): 118% от ФОТ (1605 руб.)</i> <i>СП (1011 руб.): 63% от ФОТ (1605 руб.)</i>	100 м2 проёмов	0,84	16199,3	1889	409,79	22,92	13607	1586	344	19
48	Прайс-лист т	Оконные блоки из ПВХ профиля <i>МАТ=4000/8,4/</i>	м2	84	396,83 <i>4000/8,4/</i>				33334			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		<i>1,2</i>			<i>1,2</i>							
49	ФЕ Р10 -01- 039- 01	Установка бло- ков в наруж- ных и внутрен- них дверных проемах в ка- менных стенах площадью про- ема: до 3 м2 (учебный при- мер) <i>25 074,32 =</i> <i>25 009,52 + 1 x</i> <i>64,80</i> <i>НР (739 руб.):</i> <i>118% от ФОТ</i> <i>(626 руб.)</i> <i>СП (394 руб.):</i> <i>63% от ФОТ</i> <i>(626 руб.)</i>	100 м2 про- емо в	0,57	2507 4,3	958, 3	1226, 89	141, 14	1429 2	54 6	699	80
50	ФЕ Р07 -05- 014- 03	Установка маршей без сварки массой: до 1 т (учебный пример) <i>11 010,47 =</i> <i>8 547,07 + 1 x</i> <i>2 463,40</i> <i>НР (243 руб.):</i> <i>155% от ФОТ</i> <i>(157 руб.)</i> <i>СП (157 руб.):</i> <i>100% от ФОТ</i> <i>(157 руб.)</i>	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,06	1101 0,5	1847	6097, 28	769, 64	661	11 1	366	46
51	ФЕ Р10 -01-	Установка стропил (учеб- ный пример)	1 м3 дре- ве-	5,6	2298 ,65	200, 2	36,21	3,91	1287 2	11 21	203	22

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	002-01	<i>НР (1349 руб.): 118% от ФОТ (1143 руб.) СП (720 руб.): 63% от ФОТ (1143 руб.)</i>	си-ны в кон-струкции									
52	ФЕ Р10-01-002-01	Устройство об-решётки (учеб-ный пример) <i>НР (32 руб.): 118% от ФОТ (27 руб.) СП (17 руб.): 63% от ФОТ (27 руб.)</i>	100 м3 дре-ве-си-ны в кон-струкции	0,13	2298,65	200,2	36,21	3,91	299	26	5	1
53	ФЕ Р11-01-035-03 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	Устройство по-крытий: из плит древе-сно-волокну-стых <i>НР (1231 руб.): 123% от ФОТ (1001 руб.) СП (751 руб.): 75% от ФОТ (1001 руб.)</i>	100 м2	2,3	2536,7	429,4	65,38	5,7	5834	988	150	13

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
54	ФЕ Р12 -01- 007- 07 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	Устройство кровель из че- репицы: полос- ной битумной на скатной кровле по сплошной об- шивке без ее устройства <i>НР (1606 руб.): 120% от ФОТ (1338 руб.) СП (870 руб.): 65% от ФОТ (1338 руб.)</i>	100 м2	2,3	1308 ,65	576	37,86	5,71	3010	13 25	87	13
55	ФС СЦ- 12.1 .03. 03- 000 1 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19</i>	Черепица гиб- кая битумная на основе стек- лохолста с по- крытием гра- нулятом крас- ного, серого и зеленого цве- тов	м2	239, 2	38,8 5				9293			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	№8 76/n р											
56	ФЕ Р26 -01- 037- 02	Изоляция изделиями из волокнистых и зернистых материалов на битуме: покрытий и перекрытий сверху (учебный пример) $315,34 = 1\ 856,19 - 0,97 \times 1\ 588,50$ НР (308 руб.): 100% от ФОТ (308 руб.) СП (216 руб.): 70% от ФОТ (308 руб.)	100 м2 изо- ля- ции	3,03	315, 34	101, 5	70,16		955	30 8	213	
57	ФС СЦ- 12.2 .05. 05- 000 6 При каз Мин стр оя Рос сии от	Плиты из минеральной ваты, на синтетическом связующем, П-75, толщина 50 мм	м3	2,9	273, 27				792			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
60	ФЕ Р11 -01- 034- 04 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	Устройство по- крытий: из до- сок ламиниро- ванных замко- вым способом <i>НР (427 руб.): 123% от ФОТ (347 руб.) СП (260 руб.): 75% от ФОТ (347 руб.)</i>	100 м2	1,79 4	565, 37	192, 4	6,57	1,16	1014	34 5	12	2
61	ФС СЦ- 11.2 .03. 02- 000 3 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19</i>	Ламинат "TARKETT HOLIDAY 832" (32 класс, раз- мер 1292x194 мм, толщина 8 мм, тиснение)	м2	183, 9	93,3 6				1716 9			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	№8 76/n р											
62	ФЕ Р11 -01- 040- 02	Устройство плинтусов по- ливинилхло- ридных: на ма- стике кумаро- но-каучуковой КН-3 (учебный пример) <i>НР (212 руб.): 123% от ФОТ (172 руб.) СП (129 руб.): 75% от ФОТ (172 руб.)</i>	100 м пли нту- сов	1,95	638, 75	87,8 6	2,26	0,32	1246	17 1	4	1
63	ФЕ Р11 -01- 028- 02	Устройство по- крытий на би- тумной масти- ке из плиток: керамических многоцветных для полов (учебный при- мер) <i>НР (1501 руб.): 123% от ФОТ (1220 руб.) СП (915 руб.): 75% от ФОТ (1220 руб.)</i>	100 м2 по- кры тия	0,95	9428 ,16	1277	145,8 1	6,98	8957	12 13	139	7
64	ФЕ Р11 -01- 035- 01	Устройство по- крытий: из щи- тов паркетных (учебный при- мер)	100 м2 по- кры тия	0,07 95	4606 9,6	974, 2	390,0 1	9,1	3663	77	31	1

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		<i>НР (96 руб.): 123% от ФОТ (78 руб.) СП (59 руб.): 75% от ФОТ (78 руб.)</i>										
Раздел 4. Отделочные работы												
65	ФЕ Р15 -02- 016- 03 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	Штукатурка поверхностей внутри здания цементно- известковым или цементным раствором по камню и бето- ну: улучшенная стен <i>НР (2649 руб.): 105% от ФОТ (2523 руб.) СП (1388 руб.): 55% от ФОТ (2523 руб.)</i>	100 м2	3,37	1918 ,77	695, 6	92,77	53,2 2	6466	23 44	313	179
66	ФЕ Р15 -04- 007- 01 <i>При каз Мин стр оя Рос</i>	Окраска водно- дисперсион- ными акрило- выми состава- ми улучшен- ная: по штука- турке стен <i>НР (1355 руб.): 105% от ФОТ (1290 руб.) СП (710 руб.):</i>	100 м2	3,37	1033 ,68	380, 7	10,41	1,97	3484	12 83	35	7

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	<i>сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n p</i>	<i>55% от ФОТ (1290 руб.)</i>										
67	ФЕ Р15 -02-016-04 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n p</i>	Штукатурка поверхностей внутри здания цементно-известковым или цементным раствором по камню и бетону: улучшенная потолков <i>НР (2070 руб.): 105% от ФОТ (1971 руб.) СП (1084 руб.): 55% от ФОТ (1971 руб.)</i>	100 м2	2,6	1949,69	705	92,77	53,22	5069	1833	241	138
68	ФЕ Р15 -04-005-01	Простая окраска поливинилацетатными водоэмульсионными составами по штукатурке и сборным конструкциям, подготовленным под	100 м2 окрашиваемой поверхности	1,86	969,07	136,2	6,23	0,95	1802	253	12	2

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		окраску: стен (учебный пример) <i>НР (268 руб.): 105% от ФОТ (255 руб.) СП (140 руб.): 55% от ФОТ (255 руб.)</i>										
69	ФЕ Р15 -04- 007- 02 <i>Приказ Минстр оя Росси от 26.1 2.20 19 №8 76/п р</i>	Окраска водно-дисперсионными акриловыми составами улучшенная: по штукатурке потолков <i>НР (1683 руб.): 105% от ФОТ (1603 руб.) СП (882 руб.): 55% от ФОТ (1603 руб.)</i>	100 м2	2,9	1249 ,83	550, 6	11,06	2,09	3625	15 97	32	6
70	ФЕ Р15 -06- 001- 02 <i>Приказ Минстр</i>	Оклейка обоями стен по монолитной штукатурке и бетону: тисненными и плотными <i>НР (612 руб.): 105% от ФОТ (583 руб.)</i>	100 м2	1,52	541, 84	383, 7	0,97	0,26	824	58 3	1	

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	СП (321 руб.): 55% от ФОТ (583 руб.)										
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах									4397 90	39 97 1	332 13	3773
Накладные расходы									5197 2			
Сметная прибыль									3166 9			
Итоги по смете:												
Земляные работы, выполняемые механизированным способом									5323			
Земляные работы, выполняемые ручным способом									63			
Перевозка грузов автотранспортом									5180			
Полы									5390 4			
Бетонные и железобетонные сборные конструкции в жилищно-гражданском строительстве									3032 8			
Бетонные и железобетонные монолитные конструкции в промышленном строительстве									9615 6			
Конструкции из кирпича и блоков									1918 21			
Теплоизоляционные работы									6715			
Кровли									1888 1			
Деревянные конструкции									8063			

Продолжение таблицы Г1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
									0			
									3443 0			
									5234 31			
									3666 06			
									3321 3			
									4374 4			
									5197 2			
									3166 9			
									9422			
									5328 53			
									1065 7			
									5435 10			
									9783 1,8			
									6413 42			

Таблица Г2 – Сметная стоимость строительства вертикального остова здания с использованием аддитивных технологий

№ пп	Обозначение	Наименование	Ед. изм.	Кол.	Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.			
					Все-го	В том числе			Все-го	В том числе		
						Осн. З/п	Эк.М аш.	З/п Мех		Ос н.З /п	Эк. Ма ш.	З/п Мех
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Земленные работы												
1	ФЕ Р01 -01- 004- 01	Разработка грунта в отвал экскаваторами "драглайн" или "обратная лопата" с ковшом вместимостью 0,4 (0,3-0,45) м3, группа грунтов: 1 (учебный пример) <i>НР (119 руб.): 95% от ФОТ (125 руб.) СП (63 руб.): 50% от ФОТ (125 руб.)</i>	1000 м3 грунта	0,28 2	3017 ,01	51,6 4	2965, 37	388, 67	851	15	836	110
2	ФЕ Р01 -01- 014- 01	Разработка грунта с погрузкой на автосамосвалы экскаваторами с ковшом вместимостью 0,4	1000 м3 грунта	0,37 8	4570 ,29	128, 5	4438, 57	643, 55	1728	49	167 8	243

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		(0,35-0,45) м3, группа грун- тов: 1 (учебный пример) <i>НР (277 руб.):</i> <i>95% от ФОТ</i> <i>(292 руб.)</i> <i>СП (146 руб.):</i> <i>50% от ФОТ</i> <i>(292 руб.)</i>										
3	ФЕ Р01 -02- 058- 01	Доработка грунта в руч- ную: 1 (учеб- ный пример) <i>НР (22 руб.):</i> <i>80% от ФОТ</i> <i>(28 руб.)</i> <i>СП (13 руб.):</i> <i>45% от ФОТ</i> <i>(28 руб.)</i>	100 м3 грун та	0,02	1411 ,8	1412			28	28		
4	ФС СЦ пг- 03- 21- 01- 010 <i>При</i> <i>каз</i> <i>Мин</i> <i>стр</i> <i>оя</i> <i>Рос</i> <i>сии</i> <i>от</i> <i>26.1</i> <i>2.20</i>	Перевозка гру- зов автомоби- лями- самосвалами грузоподъем- ностью 10 т работающих вне карьера на расстояние: I класс груза до 10 км <i>НР 0% от ФОТ</i> <i>СП 0% от ФОТ</i>	1 т гру- за	453, 6	11,4 2		11,42		5180		518 0	

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	19 №8 76/n р											
Раздел 2. Нулевой цикл												
5	ФЕ Р11 -01- 002- 03 Изм . . вып .1	Устройство подстилающих слоев: гравийных (учебный пример) НР (926 руб.): 123% от ФОТ (753 руб.) СП (565 руб.): 75% от ФОТ (753 руб.)	1 м3 подсти- ла- юще го слоя	30	203,68	19,58	54,07	5,54	6110	587	1622	166
6	ФЕ Р07 -05- 001- 02	Установка подушек фунда- ментных мас- сой: до 1 т (учебный при- мер) НР (622 руб.): 155% от ФОТ (401 руб.) СП (401 руб.): 100% от ФОТ (401 руб.)	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,41	4789,46	648,1	2857,72	328,05	1964	266	1172	135
7	ФЕ Р07 -05- 001- 01	Установка бло- ков стен подва- лов массой: до 0,5 т (учебный пример) НР (467 руб.): 155% от ФОТ (301 руб.) СП (301 руб.):	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,43	3367,6	461,8	2036,02	236,66	1448	199	875	102

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		<i>100% от ФОТ (301 руб.)</i>										
8	ФЕ Р07 -05- 001- 02	Установка бло- ков стен подва- лов массой: до 1 т (учебный пример) <i>НР (1452 руб.): 155% от ФОТ (937 руб.) СП (937 руб.): 100% от ФОТ (937 руб.)</i>	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,96	4789 ,46	648, 1	2857, 72	328, 05	4598	62 2	274 3	315
9	ФЕ Р07 -05- 001- 03	Установка бло- ков стен подва- лов массой: до 1,5 т (учебный пример) <i>НР (1845 руб.): 155% от ФОТ (1190 руб.) СП (1190 руб.): 100% от ФОТ (1190 руб.)</i>	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,83	7276 ,92	933	4528, 54	501, 53	6040	77 4	375 9	416
10	СЦ М- 440- 900 1- 212	Блоки бетон- ные для стен подвалов ФБС 9-4-6	ШТ									
11	СЦ М- 440- 900 1- 217	Блоки бетон- ные для стен подвалов ФБС 12-4-6	ШТ		142, 46							

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	ФЕ Р06 -01- 024- 01	Устройство стен подвалов и подпорных стен: бетонных (учебный пример) <i>НР (715 руб.): 105% от ФОТ (681 руб.)</i> <i>СП (443 руб.): 65% от ФОТ (681 руб.)</i>	100 м3 бетона, бутона и железобетона в деле	0,2	6568 3,2	3129	2028, 34	277, 17	1313 7	62 6	406	55
13	ФЕ Р08 -01- 003- 07	Гидроизоляция боковая: обмазочная битумная в 2 слоя по выравненной поверхности бутовой кладки, кирпичу, бетону (учебный пример) <i>НР (495 руб.): 122% от ФОТ (406 руб.)</i> <i>СП (325 руб.): 80% от ФОТ (406 руб.)</i>	100 м2 изолируемой поверхности	1,99	1173 ,88	201, 8	73,58	2,12	2336	40 2	146	4
14	ФЕ Р11 -01- 014-	Устройство полов бетонных толщиной: 100 мм (учебный	100 м3 пола	0,1	7216 ,1	291, 7	93,67		722	29	9	

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	01	пример) НР (36 руб.): 123% от ФОТ (29 руб.) СП (22 руб.): 75% от ФОТ (29 руб.)										
15	ФЕ Р11 -01- 004- 05	Устройство гидроизоляции обмазочной: в один слой (учебный пример) НР (357 руб.): 123% от ФОТ (290 руб.) СП (218 руб.): 75% от ФОТ (290 руб.)	100 м2 изолируемой поверхно-сти	0,97	1145,3	295,1	157,6	4,55	1111	286	153	4
16	ФЕ Р06 -01- 041- 01	Устройство перекрытий безбалочных толщиной до 200 мм, на высоте от опорной площади: до 6 м (учебный пример) НР (903 руб.): 105% от ФОТ (860 руб.) СП (559 руб.): 65% от ФОТ (860 руб.)	100 м3 в деле	0,1	146604	8198	2741,73	400,97	14660	820	274	40
17	ФЕ Р26 -01-	Изоляция изделиями из пенопласта на би-	100 м2 изо-	1,99	1438,7	177,5	40,8		2863	353	81	

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	041-01	туме: стен и колонн прямоугольных (учебный пример) <i>НР (353 руб.): 100% от ФОТ (353 руб.)</i> <i>СП (247 руб.): 70% от ФОТ (353 руб.)</i>	ля-ции									
18	ФЕ Р01-01-033-01	Засыпка траншей и котлованов с перемещением грунта до 5 м бульдозерами мощностью: 59 (80) кВт (л.с.), 1 группа грунтов (учебный пример) <i>НР (26 руб.): 95% от ФОТ (27 руб.)</i> <i>СП (14 руб.): 50% от ФОТ (27 руб.)</i>	1000 м3 грунта	0,262	466,56		466,56	102,6	122		122	27
19		СТОИМОСТЬ ПГС		309,16								
20	ФЕ Р01-02-005-01	Уплотнение грунта пневматическими трамбовками, группа грунтов: 1, 2 (учебный пример) <i>НР (404 руб.):</i>	100 м3 упл. от-ного грунта	3,0916	440,28	106,9	333,4	30,58	1361	330	1031	95

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		95% от ФОТ (425 руб.) СП (213 руб.): 50% от ФОТ (425 руб.)										
21	ФЕ Р06 -01- 013- 01	Устройство монолитной отмостки тол- щиной 15 мм (учебный при- мер) НР (44 руб.): 105% от ФОТ (42 руб.) СП (27 руб.): 65% от ФОТ (42 руб.)	100 м2 под лив- ки под обо- ру- до- ва- ние	0,10 3	1957 ,4	410, 7	13,95	1,08	202	42	1	
22	ФЕ Р06 -01- 035- 01	Устройство по- ясов: в опалуб- ке (учебный пример) НР (1311 руб.): 105% от ФОТ (1249 руб.) СП (812 руб.): 65% от ФОТ (1249 руб.)	100 м3 же- ле- зо- бе- тона в деле	0,12 4	1629 22	9116	8036, 61	958, 65	2020 2	11 30	997	119
Раздел 3. Надземная часть												
23	ФЕ Р 37- 01- 003- 03	Печать наруж- ных стен тол- щиной 270 мм	100 м3 же- ле- зо- бе- тона в кон-	0,75 9	1162 ,41	134, 55	3589, 13	234, 02	882, 3	10 2,1	272 4,1	177, 6

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			стру кци и									
24	ФС СЦ- 04.3 .01. 12- 000 4 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/п р</i>	Раствор кла- дочный, це- ментно- известковый, М75	м3	42,7	519, 8				2219 5			
25	ФЕ Р 37- 01- 003- 03	Печать внут- ренних стен толщиной 270 мм	100 м3 же- ле- зо- бе- тона в кон- стру кци и	0,14	1162 ,41	134, 55	3589, 13	234, 02	162, 7	18, 8	502 ,5	32,8

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26	ФС СЦ- 04.3 .01. 12- 000 4 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	Раствор кла- дочный, це- ментно- известковый, М75	м3	4,68	519, 8				2433			
27	ФЕ Р 37- 01- 003- 03	Печать перего- родок толщи- ной 100 мм	100 м3 же- ле- зо- бе- тона в кон- стру кци и	0,35 4	1162 ,41	134, 55	3589, 13	234, 02	411, 5	47, 6	127 0,6	82,8
29	ФС СЦ- 04.3 .01.	Раствор кла- дочный, це- ментно- известковый,	м3	3,54	519, 8				1840			

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	12-0004 Приказ Минстроя Росси от 26.12.2019 №8 76/нр	М75										
30	ФЕР Р 37-01-003-03	Печать стен гаража толщиной 270 мм	100 м3 железобетона в конструкции	0,223	1162,41	134,55	3589,13	234,02	259,2	30	800,4	52,2
31	ФС СЦ-04.3.01. 12-0004 При	Раствор кладочный, цементно-известковый, М75	м3	7,32	519,8				3805			

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р											
32	ФЕ Р08 -02- 003- 01	Кладка дымо- вых труб (учебный при- мер) $945,52 =$ $1\ 002,02 - 0,01 \times$ $5\ 650,00$ НР (107 руб.): 122% от ФОТ (88 руб.) СП (70 руб.): 80% от ФОТ (88 руб.)	1 м3 клад ки	1	945, 52	82,8 1	40,06	4,97	946	83	40	5
33	ФЕ Р07 -05- 007- 10	Укладка пере- мычек до мас- сой 0,3 т (учеб- ный пример) НР (126 руб.): 155% от ФОТ (81 руб.) СП (81 руб.): 100% от ФОТ (81 руб.)	100 шт. сбор ных кон- стру кци й	0,29	1068 ,37	153, 9	784,5 1	122, 58	310	45	228	36
34	СЦ	Перемычки	М3		1896							

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	М-442-5001	железобетонные брусковые			,4							
35	ФЕ Р07-05-007-10	Укладка перемычек до массой 0,3 т (учебный пример) <i>НР (141 руб.): 155% от ФОТ (91 руб.)</i> <i>СП (91 руб.): 100% от ФОТ (91 руб.)</i>	100 шт. сборных конструкций	0,33	1068,37	153,9	784,51	122,58	353	51	259	40
36	ФЕ Р07-05-011-06	Установка панелей перекрытий с опиранием на 2 стороны площадью: до 15 м2 (учебный пример) <i>НР (1784 руб.): 155% от ФОТ (1151 руб.)</i> <i>СП (1151 руб.): 100% от ФОТ (1151 руб.)</i>	100 шт. сборных конструкций	0,32	12394	2985	4318,58	613,04	3966	955	1382	196
37	ФЕ Р06-01-041-01	Устройство перекрытий безбалочных толщиной до 200 мм, на высоте от опорной площади: до 6 м (учебный пример)	100 м3 в деле	0,28	140107	8198	274,15	15,41	39230	2296	77	4

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		<p>140 106,79 =</p> <p>146 604,37 -</p> <p>28,56 x 86,40 -</p> <p>0,5 x 8 060,00</p> <p>НР (2415 руб.):</p> <p>105% от ФОТ</p> <p>(2300 руб.)</p> <p>СП (1495 руб.):</p> <p>65% от ФОТ</p> <p>(2300 руб.)</p>										
38	<p>ФЕ</p> <p>Р26</p> <p>-01-</p> <p>039-</p> <p>01</p> <p>При</p> <p>каз</p> <p>Мин</p> <p>стр</p> <p>оя</p> <p>Рос</p> <p>сии</p> <p>от</p> <p>26.1</p> <p>2.20</p> <p>19</p> <p>№8</p> <p>76/n</p> <p>р</p>	<p>Изоляция по-</p> <p>крытий и пере-</p> <p>крытий изде-</p> <p>лиями из во-</p> <p>локнистых и</p> <p>зернистых ма-</p> <p>териалов насу-</p> <p>хо</p> <p>НР (118 руб.):</p> <p>100% от ФОТ</p> <p>(118 руб.)</p> <p>СП (83 руб.):</p> <p>70% от ФОТ</p> <p>(118 руб.)</p>	м3	1,13	138, 76	98,2 9	40,47	6,38	157	11 1	46	7
39	<p>ФС</p> <p>СЦ-</p> <p>12.2</p> <p>.05.</p> <p>11-</p> <p>002</p> <p>3</p> <p>При</p>	<p>Плиты или ма-</p> <p>ты теплоизоля-</p> <p>ционные</p>	м3	1,15	542, 4				624			

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р											
40	ФЕ Р12 -01- 015- 03	Устройство па- роизоляции прокладочной: в один слой (учебный при- мер) НР (94 руб.): 120% от ФОТ (78 руб.) СП (51 руб.): 65% от ФОТ (78 руб.)	100 м2 изо- ли- ру- емо й по- верх но- сти	1,11	950, 92	68,5 8	30,84	2,22	1056	76	34	2
41	ФЕ Р10 -01- 023- 01	Укладка ходо- вых досок (учебный при- мер) НР (7 руб.): 118% от ФОТ (6 руб.) СП (4 руб.): 63% от ФОТ (6 руб.)	100 м хо- дов	0,2	301, 54	31,8 4	11,98	1,27	60	6	2	

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
42	ФЕ Р10 -01- 034- 03 <i>Доп .вып .1</i>	Установка в жилых и общественных зданиях оконных блоков из ПВХ профилей поворотных (откидных, поворотно-откидных) с площадью проема до 2 м2 одностворчатых (учебный пример) <i>16 199,34 = 127 514,34 - 100 x 1 113,15 НР (1894 руб.): 118% от ФОТ (1605 руб.) СП (1011 руб.): 63% от ФОТ (1605 руб.)</i>	100 м2 про- ёмо в	0,84	1619 9,3	1889	409,7 9	22,9 2	1360 7	15 86	344	19
43	Пра йс- лис т	Оконные блоки из ПВХ профиля <i>МАТ=4000/8,4/ 1,2</i>	м2	84	396, 83 <i>4000 /8,4/ 1,2</i>				3333 4			
44	ФЕ Р10 -01- 039- 01	Установка блоков в наружных и внутренних дверных проемах в каменных стенах площадью проема: до 3 м2	100 м2 про- емо в	0,57	2507 4,3	958, 3	1226, 89	141, 14	1429 2	54 6	699	80

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		(учебный пример) $25\ 074,32 = 25\ 009,52 + 1 \times 64,80$ <i>НР (739 руб.):</i> <i>118% от ФОТ (626 руб.)</i> <i>СП (394 руб.):</i> <i>63% от ФОТ (626 руб.)</i>										
45	ФЕ Р07 -05- 014- 03	Установка маршей без сварки массой: до 1 т (учебный пример) $11\ 010,47 = 8\ 547,07 + 1 \times 2\ 463,40$ <i>НР (243 руб.):</i> <i>155% от ФОТ (157 руб.)</i> <i>СП (157 руб.):</i> <i>100% от ФОТ (157 руб.)</i>	100 шт. сборных конструкций	0,06	1101 0,5	1847	6097, 28	769, 64	661	11 1	366	46
46	ФЕ Р10 -01- 002- 01	Установка стропил (учебный пример) <i>НР (1349 руб.):</i> <i>118% от ФОТ (1143 руб.)</i> <i>СП (720 руб.):</i> <i>63% от ФОТ (1143 руб.)</i>	1 м3 деревянные конструкции	5,6	2298 ,65	200, 2	36,21	3,91	1287 2	11 21	203	22
47	ФЕ Р10 -01-	Устройство обрешётки (учебный пример)	100 м3 деревянные	0,13	2298 ,65	200, 2	36,21	3,91	299	26	5	1

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	002-01	<i>НР (32 руб.): 118% от ФОТ (27 руб.) СП (17 руб.): 63% от ФОТ (27 руб.)</i>	веси-ны в кон-струкции									
48	ФЕ Р11-01-035-03 <i>Приказ Минстроя России от 26.1.2019 №8 76/нр</i>	<i>Устройство покрытий: из плит древесно-волокнистых НР (1231 руб.): 123% от ФОТ (1001 руб.) СП (751 руб.): 75% от ФОТ (1001 руб.)</i>	100 м2	2,3	2536,7	429,4	65,38	5,7	5834	988	150	13
49	ФЕ Р12-01-007-07 <i>Приказ Минстроя России</i>	<i>Устройство кровель из черепицы: полосной битумной на скатной кровле по сплошной обшивке без ее устройства НР (1606 руб.): 120% от ФОТ</i>	100 м2	2,3	1308,65	576	37,86	5,71	3010	1325	87	13

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	<i>сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	<i>(1338 руб.) СП (870 руб.): 65% от ФОТ (1338 руб.)</i>										
50	ФС СЦ- 12.1 .03. 03- 000 1 <i>При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р</i>	Черепица гибкая битумная на основе стеклохолста с покрытием гранулятом красного, серого и зеленого цветов	м2	239, 2	38,8 5				9293			
51	ФЕ Р26 -01- 037- 02	Изоляция изделиями из волокнистых и зернистых материалов на битуме: покрытий и перекрытий сверху	100 м2 изо- ля- ции	3,03	315, 34	101, 5	70,16		955	30 8	213	

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		(учебный пример) $315,34 = 1\ 856,19 - 0,97 \times 1\ 588,50$ <i>НР (308 руб.):</i> <i>100% от ФОТ (308 руб.)</i> <i>СП (216 руб.):</i> <i>70% от ФОТ (308 руб.)</i>										
52	ФС СЦ- 12.2 .05. 05- 000 6 <i>Приказ Минстроя России от 26.12.2019 №876/нр</i>	Плиты из минеральной ваты, на синтетическом связующем, П-75, толщина 50 мм	м3	2,9	273,27				792			
53	ФЕ Р11-01-015-01	Устройство покрытий бетонных: толщиной 40 мм (учебный пример)	100 м3 покрытия	0,11	2733,29	321,3	199,48	30,05	301	35	22	3

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		<i>НР (47 руб.): 123% от ФОТ (38 руб.) СП (29 руб.): 75% от ФОТ (38 руб.)</i>										
54	ФЕ Р12 -01- 015- 03 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	Устройство па- роизоляции: прокладочной в один слой <i>НР (208 руб.): 120% от ФОТ (173 руб.) СП (112 руб.): 65% от ФОТ (173 руб.)</i>	100 м2	2,74	942, 4	60,6 6	30,24	2,69	2582	16 6	83	7
55	ФЕ Р11 -01- 034- 04 При каз Мин стр оя Рос сии	Устройство по- крытий: из до- сок ламиниро- ванных замко- вым способом <i>НР (427 руб.): 123% от ФОТ (347 руб.) СП (260 руб.): 75% от ФОТ (347 руб.)</i>	100 м2	1,79 4	565, 37	192, 4	6,57	1,16	1014	34 5	12	2

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	от 26.1 2.20 19 №8 76/n р											
56	ФС СЦ- 11.2 .03. 02- 000 3 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	Ламинат "TARKETT HOLIDAY 832" (32 класс, раз- мер 1292x194 мм, толщина 8 мм, тиснение)	м2	183, 9	93,3 6				1716 9			
57	ФЕ Р11 -01- 040- 02	Устройство плинтусов по- ливинилхло- ридных: на ма- стике кумаро- но-каучуковой КН-3 (учебный пример) НР (212 руб.):	100 м пли нту- сов	1,95	638, 75	87,8 6	2,26	0,32	1246	17 1	4	1

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		123% от ФОТ (172 руб.) СП (129 руб.): 75% от ФОТ (172 руб.)										
58	ФЕ Р11 -01- 028- 02	Устройство по- крытий на би- тумной масти- ке из плиток: керамических многоцветных для полов (учебный при- мер) НР (1501 руб.): 123% от ФОТ (1220 руб.) СП (915 руб.): 75% от ФОТ (1220 руб.)	100 м2 по- кры тия	0,95	9428 ,16	1277	145,8 1	6,98	8957	12 13	139	7
59	ФЕ Р11 -01- 035- 01	Устройство по- крытий: из щи- тов паркетных (учебный при- мер) НР (96 руб.): 123% от ФОТ (78 руб.) СП (59 руб.): 75% от ФОТ (78 руб.)	100 м2 по- кры тия	0,07 95	4606 9,6	974, 2	390,0 1	9,1	3663	77	31	1
Раздел 4. Отделочные работы												
60	ФЕ Р15 -02- 016- 03	Штукатурка поверхностей внутри здания цементно- известковым	100 м2	3,37	1918 ,77	695, 6	92,77	53,2 2	6466	23 44	313	179

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	или цементным раствором по камню и бето- ну: улучшенная стен НР (2649 руб.): 105% от ФОТ (2523 руб.) СП (1388 руб.): 55% от ФОТ (2523 руб.)										
61	ФЕ Р15 -04- 007- 01 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	Окраска водно- дисперсион- ными акрило- выми состава- ми улучшен- ная: по штука- турке стен НР (1355 руб.): 105% от ФОТ (1290 руб.) СП (710 руб.): 55% от ФОТ (1290 руб.)	100 м2	3,37	1033 ,68	380, 7	10,41	1,97	3484	12 83	35	7
62	ФЕ Р15 -02- 016-	Штукатурка поверхностей внутри здания цементно-	100 м2	2,6	1949 ,69	705	92,77	53,2 2	5069	18 33	241	138

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	04 При каз Мин стр оя Рос сии от 26.1 2.20 19 №8 76/n р	известковым или цементным раствором по камню и бето- ну: улучшенная потолков НР (2070 руб.): 105% от ФОТ (1971 руб.) СП (1084 руб.): 55% от ФОТ (1971 руб.)										
63	ФЕ Р15 -04- 005- 01	Простая окрас- ка поливи- нилацетатными водоэмульси- онными соста- вами по штука- турке и сбор- ным конструк- циям, подго- товленным под окраску: стен (учебный при- мер) НР (268 руб.): 105% от ФОТ (255 руб.) СП (140 руб.): 55% от ФОТ (255 руб.)	100 м2 окра ши- вае- мой по- верх но- сти	1,86	969, 07	136, 2	6,23	0,95	1802	25 3	12	2
64	ФЕ Р15 -04-	Окраска водно- дисперсион- ными акрило-	100 м2	2,9	1249 ,83	550, 6	11,06	2,09	3625	15 97	32	6

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	007-02 Приказ Минстроя России от 26.1.2019 №8 76/нр	выми составами улучшенная: по штукатурке потолков НР (1683 руб.): 105% от ФОТ (1603 руб.) СП (882 руб.): 55% от ФОТ (1603 руб.)										
65	ФЕР15-06-001-02 Приказ Минстроя России от 26.1.2019 №8 76/нр	Оклейка обоями стен по монолитной штукатурке и бетону: тиснеными и плотными НР (612 руб.): 105% от ФОТ (583 руб.) СП (321 руб.): 55% от ФОТ (583 руб.)	100 м2	1,52	541,84	383,7	0,97	0,26	824	583	1	
Итого прямые затраты по смете в базисных ценах									439790	3997	33213	3773

Продолжение таблицы Г2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
										1		
	Накладные расходы								5197 2			
	Сметная прибыль								3166 9			
	Итого по смете:											
	Земляные работы, выполняемые механизированным способом								5323			
	Земляные работы, выполняемые ручным способом								63			
	Перевозка грузов автотранспортом								5180			
	Полы								5390 4			
	Бетонные и железобетонные сборные конструкции в жилищно-гражданском строительстве								3032 8			
	Бетонные и железобетонные монолитные конструкции в промышленном строительстве								9615 6			
	Конструкции возведенные при помощи аддитивных технологий								4556 0			
	Теплоизоляционные работы								6715			
	Кровли								1888 1			
	Деревянные конструкции								8063 0			
	Отделочные работы								3443 0			
	Итого								3771 70			
	В том числе:											
	Материалы								3666 06			
	Машины и механизмы								3321 3			

Продолжение таблицы Г2


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		ФОТ							4374 4			
		Накладные расходы							5197 2			
		Сметная прибыль							3166 9			
		Временные 1,8%							9422			
		Итого							3865 92			
		Непредвиденные затраты 2%							1065 7			
		Итого с непредвиденными							3972 49			
		НДС 18%							9783 1,8			
		ВСЕГО по смете							4950 802			

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Хакасский технический институт – филиал СФУ
институт

Строительство
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись

Г.Н. Шibaева
инициалы, фамилия




«29» 06 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование строительства экспериментальных домов, в том числе по тех-
нологии 3D принтера
тема

08.04.01. Строительство
код и наименование направления

08.04.01.16 Промышленное и гражданское строительство: проектирование
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	 подпись, дата	к.т.н., доцент должность, ученая степень	Г. Н. Шibaева инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		Е. Н. Курьшев инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	директор ООО «Са- янСтройПроект» (должность, ученая степень)	В. В. Паустов- ский инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата	к.т.н., доцент должность, ученая степень	Г.Н.Шibaева инициалы, фамилия