

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
 Отделение школы (НОЦ) Н.М.Кижнера

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние диспергирующих добавок на свойства газобетона.

УДК 66.022.3.063.6:666.973.6-02

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Шалабаева Мадина		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталья Александровна	к.т.н		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Лотов Василий Агафонович	д.т.н,		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина Ольга Викторовна	д.т.н		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
ПО ООП 18.04.01 ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно–научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов.	Требования ФГОС (ПК–2, 10, 12), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач.	Требования ФГОС (ПК–2, 4–7, ОК–4), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1, 5.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии.	Требования ФГОС (ПК–2), Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	Разрабатывать химико–технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке.	Требования ФГОС (ПК–1, 17), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий.	Требования ФГОС (ПК–14–16, ОК–2–6), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК–1, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ПК–3, 8, 13), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранном языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ПК–7, ОК–3) Критерий 5 АИОР (п. 5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.	Требования ФГОС (ПК–9, ОК–4, 5), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .	Требования ФГОС (ПК–5, 6, 10), Критерий 5 АИОР (п. 5.3.4, 5.3.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК–11, ОК–1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (5.3.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR–ACE</i> и <i>FEANI</i> , ПС пер. 853 от 19.09.2016.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа новых производственных технологий
 Направление подготовки химическая технология
 Отделение школы (НОЦ) Н.М.Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ72	Шалабаевой Мадине

Тема работы:

Влияние диспергирующих добавок на свойства газобетона.
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 1237/с от 18.02.2015
---	-------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данные литературного обзора
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Исследование свойств модельных цементных образцов и образцов газобетона с диспергирующими добавками

Перечень графического материала	Характеристика исходных материалов, зависимость предела прочности и количества добавки в образцах от времени твердения, кривые тепловыделения образцов, кривые дифференциально – термического анализа и потерь массы образцов, микрофотографии образцов
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Часть ВКР на английском языке	Аксёнова Наталия Валерьевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Aerated concrete, properties and applications (Literature review)

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	18.02.2019
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталья Александровна	к.т.н		
Профессор	Лотов Василий Агафонович	д.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Шалабаева Мадина		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа новых производственных технологий

Направление подготовки (специальность) химическая технология

Уровень образования Магистр

Отделение школы (НОЦ Н.М.Кижнера)

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.05.2019	Основная часть	60
25.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
30.05.2019	Социальная ответственность	10
05.06.2019	Обязательное приложение на иностранном языке	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Митина Наталья Александровна	к.т.н		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Лотов Василий Агафонович	д.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Казьмина Ольга Викторовна	д.т.н		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ72	Шалабаевой Мадине

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	научно-образовательный центр Н.М. Кижнера
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, районный коэффициент по г. Томску
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– потенциальные потребители результатов исследования; – анализ конкурентных технических решений.
2. Разработка устава научно-технического проекта	– цели и результаты исследования; – участники проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– структура работ в рамках научно-технического проекта; – определение трудоемкости выполнения работ; – составление графика проведения научно-технического проекта; – определение бюджета научно-технического проекта.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	– оценка эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. График проведения НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трубченко Татьяна Григорьевна	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Шалабаева Мадина		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4ГМ72	Шалабаева Мадина

Школа	Новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Н.М Кижнера
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Химическая технология

Тема ВКР:

Влияние диспергирующих добавок на свойства газобетона.

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

*Объектом исследования является газобетон с диспергирующими добавками. Исследовательская работа выполнялась в лаборатории кафедры «ТСН». Закрытое сухое отопляемое помещение с хорошими условиями освещенности.
Газобетон это уникальный материал широко используется в домостроении. Он подходит для возведения всех типов стен, в том числе и несущих.*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

*Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда»
Федеральный закон №184-ФЗ «о техническом регулировании от 27 декабря 2002 года.*

2. Производственная безопасность:

2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов
2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Вредные и опасные факторы:

- Отклонение показателей микроклимата
- Превышение уровня шума
- Недостаточная освещенность рабочей зоны
- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
- Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе
- Подвижные части производственного оборудования

3. Экологическая безопасность:

- Технология получения газобетона является достаточно чистым производством. В связи с этим применения таких средств защиты

	<p>селитебной зоны, как санитарно-защитная зона, не является необходимым.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Негативного воздействия на атмосферу гидросферу, литосферу нет.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> • Возможные ЧС на объекте: <ul style="list-style-type: none"> – стихийные бедствия (ураганы, наводнения) – пожар – военные конфликты <p>Для обеспечения безопасности разработаны меры по предотвращению ЧС.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2019
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ГМ72	Шалабаева Мадина		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 130 с., 19 рис., 35 табл., 66 источников, 1 прил.

Ключевые слова: цемент, газобетон, диспергирующие добавки, прочность на сжатие, гидратция цемента.

Объектами исследования являются модельные цементные образцы и газобетонные образцы с добавками.

Цель работы – исследовать влияние химических и диспергирующих добавок на свойства газобетона и интенсифицировать процесс гидратации и твердения цемента в составе газобетона.

В процессе исследования проводились исследования влияния диспергирующих добавок на гидратацию и твердение цемента в составе газобетона.

В результате исследования было установлено влияние диспергирующих добавок на прочностные характеристики газобетона.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: предел прочности при сжатии, микроструктура цемента и газобетона, тепловые эффекты.

Степень внедрения: лабораторные испытания.

Область применения: гражданское строительство.

Экономическая эффективность/значимость работы: текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным, перспективным с точки зрения ресурсопотребления и превосходит конкурентов.

В будущем планируется провести сравнительные эксперименты по улучшению технических характеристик газобетона

Оглавление

Введение	14
РАЗДЕЛ 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	15
1.1 Газобетон свойство и применение	15
1.2 Виды газобетона	17
1.3 Способы получения изделий из газобетона.....	18
1.3.1 Неавтоклавный способ.....	19
1.3.2 Автоклавный способ	20
1.4 Формирование пористости и прочности газобетона.....	22
1.4.1 Влияние газообразователя на структуру и свойства газобетона	22
1.4.2 Прочная межпорочная перегородка	23
1.5 Регулирование реологических свойств газобетонной массы	24
1.6 Влияние добавок на свойства газобетона	26
1.6.1 Влияние специальных добавок.....	26
1.6.2 Влияние химических добавок на процессы твердения и гидратации цемента	28
1.7 Предпосылки исследований	29
РАЗДЕЛ 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	31
2.1 Характеристика сырьевых материалов	31
2.1.1 Портландцемент	31
2.1.2 Газообразователь.....	31
2.1.3 Вода.....	32
2.1.4 Формовочный гипс.....	33
2.1.5 Динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б)..	33
2.1.6 Микрокремнезем	34

2.1.7 Хлорид кальция(CaCl_2)	34
2.1.8 Карбонат натрия (кальцинированная сода)	35
2.2 Методы исследования	36
2.2.1 Определение физико-механических свойств образцов	36
2.2.1.1 Определение прочности при сжатие	36
2.2.2 Физико-химические методы анализа	36
2.2.2.1 Электронная микроскопия	36
2.2.2.2 Дифференциально – термический анализ	37
2.2.2.3 Дифференциальная микрокалориметрия	39
РАЗДЕЛ 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	42
3.1 Моделирование состава	42
3.1.1 Изготовление модельных цементных образцов	42
3.1.2 Изготовление газобетонных образцов	43
3.1.2.1 Расчет состава газобетона	43
3.1.2.2 Выбор оптимального водотвердого отношения	46
3.1.2.3 Температурный режим процесса вспучивания	46
3.1.2.4 Изготовление экспериментальных образцов	47
3.2 Исследование зависимости свойств образцов от вида и количества добавки	47
3.2.1 Добавка микрокремнезема	49
3.2.2 Добавка гипса	52
3.2.3 Добавка трилона Б	55
3.2.4 Комплексная добавка $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$	59
3.3 Термические исследования	64
3.3.1 Дифференциальная микрокалориметрия	64

3.3.2 Дифференциально – термический анализ	66
РАЗДЕЛ 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	71
4.1 Предпроектный анализ	71
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	71
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	72
4.1.3 Диаграмма Исикавы	74
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	75
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	76
4.2 Инициация проекта	77
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	79
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта	79
4.3.2 Контрольные события проекта	79
4.3.3 План проекта.....	80
4.4 Бюджет научного исследования	83
4.5. Организационная структура проекта	88
4.6. Матрица ответственности	89
4.7 Реестр рисков проекта.....	89
4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	91
4.8.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	91
4.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования	94
4.9 Оценка научно-технического эффекта.....	97

РАЗДЕЛ 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	99
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	100
5.2 Производственная безопасность	101
5.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды	102
5.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата.	102
5.2.1.2 Повышение уровня шума.....	104
5.2.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	104
5.2.2. Анализ опасных факторов производственной среды.....	105
5.2.2.1 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	105
5.2.2.2 Повышенная концентрация вредных веществ в воздухе	105
5.2.2.3 Подвижные части производственного оборудования	107
5.3 Экологическая безопасность	107
5.3.1 Защита селитебной зоны.....	108
5.3.2 Защита атмосферы.....	108
5.3.3 Защита гидросферы.....	108
5.3.4 Защита литосферы.....	108
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	111
Приложение А	121

Введение

В современных условиях жизни важным вопросом является снижение материалоемкости и ресурсоэффективности строительных материалов. Поэтому, особое внимание уделяется материалам, обладающим небольшими значениями объемной плотности, к таким материалам относятся газобетон. Газобетон - это легкий пористый материал, относящийся к ячеистым бетонам. Применение газобетона значительно сократит время на возведение построек, а так же обеспечит долговечность построек. Основное сырье используемое в газобетонной технологии цемент. Цемент является дорогостоящим материалом, поэтому актуальным является вопрос экономии цемента в технологии газобетона.

Поэтому очень важно исследовать влияние диспергирующих добавок на свойства исходного материала, которые интенсифицируют процесс гидратации и твердения, что позволит в последующем позволят значительно снизить затраты на сырье и энергию.

Объектом исследования являются диспергирующие добавки для газобетона способные повлиять на свойства ячеистобетонной смеси.

РАЗДЕЛ 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Газобетон свойство и применение

Современные тенденции и перспективы строительства и реконструкции зданий, в первую очередь, касаются рационального подхода к использованию энергетических ресурсов, комфортного микроклимата в помещениях и уменьшения влияния на окружающую среду. Поэтому производители и потребители строительных материалов при выборе эффективных ресурса и энергосберегающих, экологически чистых строительных материалов выбирают материалы, которые смогут обеспечить долговечность, качество и комфортность зданий, а также значительно уменьшить экологическое воздействие на окружающую среду [1-2].

Одним из таких материалов является газобетон. Газобетон - это универсальный пористый материал, который относится к ячеистым бетонам. Имеет равномерно распределенную пористую структуру. Газобетон используется для возведения, как не несущих, так и несущих стен. Уже в течение многих лет строители выбирают его, как надежный и простой в использовании и обработке материала, для выполнения различных строительных работ[3-4].

Благодаря замкнутой структуре пор, газобетон обладает теплоизоляционной способностью [5-7]. Воздух в замкнутых порах газобетона сохраняет тепло, поэтому может использоваться как в теплых, так и в холодных климатических условиях. Поэтому его используют в качестве утеплителя в малоэтажных и многоэтажных домах.

Газобетон является звукоизоляционным материалом, поры предотвращают трансмиссию звука, а также препятствует отклонению звука за счет использования заполнителя [8-13].

Технология изготовления газобетона и сам материал экологически чисты[14-15]. Дать оценку экологичности газобетона, можно по показателю радиоактивности и горючести изделия

Для материалов, применяемых в строительстве и реконструкции жилых и общественных зданий (I класс) норма радиоактивности составляет 370 Бк/кг [16]. У газобетона, дерева и гипса удельная эффективность естественных радионуклидов ниже 54 Бк/кг, поэтому считается наименее опасным материалами, у остальных строительных материалов удельная эффективность естественных радионуклидов выше (глиняный кирпич III класс-120–153 Бк/кг) [16].

Газобетон пожаробезопасен и огнестоек. Газобетонные блоки выдерживает действие огня в течение 3-7 часов без разрушения, при горении скорость распространения пламени и дымообразующая способность минимальны. Поэтому при горении материал не выделяет токсичные вещества. Изделия из газобетона эффективно противостоят действию огня [17-20]. Внутри ячеистого бетона можно прокладывать дымоходы и вентиляционные каналы.

Еще одним преимуществом зданий из газобетона является устойчивость материала к бактериям, плесени и грибку. Так как в нем отсутствуют органические соединения, которыми питаются плесневые грибы. При нормальных условиях газобетон сухой и в нем нет влаги для развития грибков и микроорганизмов [21].

Газобетон, применяются во всех отраслях строительной промышленности. Благодаря своим уникальным свойствам изделия из газобетона позволяют за короткий промежуток времени возводить в жилые дома и сельскохозяйственные постройки, он используется в строительстве общественных, промышленных и административных зданий.

Газобетонные блоки имеют небольшой вес и размер, самыми распространенными являются 200x300x600 мм и близкие к нему, а зная габариты, можно определить объем, в данном случае он составляет 0,036 м³. Блок газобетона такого размера будет весить в сухом состоянии для марки: D500 – 18 кг [22]. Поэтому трудозатрата для этих конструкции минимальна.

Конструкции из газобетона прочные и долговечные. Их используют в качестве внутренних и наружных стен - несущих, одинарных, двойных, ненесущих, комбинированных. Так же для устройства разделительных и противопожарных перегородок, заполнения стальных и бетонных каркасов.

Совместно с другими видами ячеистого бетона, он может применяться для таких работ, как устройство лестничных ступеней, плит перекрытия, панелей, перемычек и т.д [24].

1.2 Виды газобетона

Современное строительство позволяет создавать различную продукцию, отличающуюся техническими характеристиками и свойствами.

Одним из важных свойств газобетона является объемная плотность. Именно от плотности зависит износостойкость, и сопротивление внешним воздействиям материала. Плотность газобетона характеризуется объемом пор. Наличие пор делает газобетон теплопроводным материалом.

Классифицируют газобетон по объемной плотности:

- конструкционный ($\rho=1000-1200 \text{ кг/м}^3$) применяется для несущих конструкции и перекрытый [25].

- конструкционно-теплоизоляционный ($\rho=500-1000 \text{ кг/м}^3$). Используют для внутренних и внешних стен [26].

- теплоизоляционный ($\rho=350-500 \text{ кг/м}^3$). Используется в качестве утеплителя стен, полов, чердачных перекрытий.

В организации производства газобетона, имеет огромное значение распалубочная прочность газобетона, так как она определяет темп технологического процесса. При естественном твердении, значительно уменьшается производственная площадь, необходимо большое количество форм, которые занимают эту площадь. Так как момент от заливки до получения им распалубочной прочности занимает 28 суток, что суммарно превышает длительность всех остальных операции, поэтому производители выбирают разные условия производства газобетона и их различают по характеру твердения в этих условиях:

- a) Твердеющие при естественных условиях (28 суток)
- b) Твердеющие при атмосферном давлении в камере пропаривания, термоактивных формах, специальных формах с электроподогревом и т.п;
- c) Автоклавные, получаемые в среде насыщенного пара, или насыщенного, а затем перегретого пара высокого давления, в том числе автоклавах, оборудованных источниками нагрева;
- d) Карбонизованные, затвердевающие в герметизированных камерах при воздействии углекислого газа;
- e) Комбинированного твердения, т.е при различном сочетании способов [27].

Полученные изделия свойствами лишь незначительно отличается от газобетона естественного твердения.

Эффективными считаются такие режимы тепловой обработки, которые позволяют в короткие сроки получить газобетон заданной прочности без значительных изменений его свойств. Эффективность тепловой обработки зависит от ряда технологических факторов, характеризующих газобетонные изделия, и производственных факторов, определяющих режим тепловой обработки. Технологическими факторами являются вид и минералогический состав цемента, количество цемента и воды в бетоне и др.

Производственными факторами являются, температура и влажность среды, продолжительность отдельных периодов тепловлажностной обработки бетона.

1.3 Способы получения изделий из газобетона

- Неавтоклавный – твердение в естественных условиях или тепловлажностая обработка с использованием теплового воздействия при атмосферном давлении [28] .
- Автоклавный - твердение происходит при повышенной температуре в специальных печах – автоклавах, при избыточном давлении [29-30] ;

1.3.1 Неавтоклавный способ

Неавтоклавный способ получения газобетона производится на основе портландцемента, известняка, шлака, золы, др. отходы и «газообразователь».

Производство изделий включает следующие технологические операции:

1. Подготовка сырьевых материалов

В технологии газобетона используют тонкодисперсные композиции, которые должны соответствовать требуемой удельной поверхности. Сырьевые материалы: кремнеземистый компонент (песок) до $S_{уд}$ не менее 1500-200 $см^3/г$, известь до 4500-5000 $см^3/г$. Цемент и алюминиевая пудра измельчению не подвергается, так как удельная поверхность высокая 2500-3500 $см^3/г$. Измельчение проводят для увеличения объема цементирующих новообразований, которые обеспечат повышение устойчивости газобетонной массы на стадии формования и набора структурной прочности. Дополнительное измельчение этих компонентов до $S_{уд} = 3000-4000$ $г/см^3$ позволит активировать вяжущее и газообразователь, а так же существенно повысит однородность смеси, что позволит получить изделие с низкой средней плотностью.

2. Приготовление ячеистобетонной смеси.

Подготовленные (измельченные) и отдозированные компоненты загружают в газобетоносмеситель при включенном перемешивающем механизме. Последовательно загружают песчаный шлам и воду (недостающее количество) предварительно подогретые до 40-50°C, вяжущее, газообразователь (алюминиевая пудра). Добавки, вводимые в газобетонную смесь, загружаются совместно с вяжущим веществом (цемент). Алюминиевая пудра вводится в газобетонную смесь в виде суспензии, предварительно ее обезжиривают (удаление стеариновой или парафиновой оболочки) в ПАВ. Все компоненты до загрузки газообразователя тщательно перемешиваются 3-5 минут, загружается суспензия газообразователя и перемешивается еще 1-3 минуты в газобетоносмесителе. Поступившая в газобетоносмеситель смесь имеет

температуру не ниже 35 °С, так как это обеспечит интенсификацию взаимодействия алюминиевой пудры с Ca(OH)₂.

3. Формование изделий и их пропаривание.

Формование смеси, состоит из дозирования и смешивания всех компонентов [31]. На этом этапе идет поризация (вспучивание) смеси, за счет взаимодействия газообразователя (алюминиевая пудра) с Ca(OH)₂.



Водород выделившийся в свободном состоянии, в виде газовых пузырьков вспучивают газобетонный массив. Эта стадия определяет, структуру пористого материала. Небольшое количество газообразователя (0,6-0,7 кг/м³), равномерно распределяется во всем объеме смеси и создает ячеистую структуру материала до заданных значений средней плотности непосредственно в форме.

Основное условие при данном процессе (вспучивание), это соответствие кинетики газовыделения изменению реологических свойств массы.

Неавтоклавный способ, является относительно дешевым способом получения изделия из газобетона, так как затраты на электроэнергию минимальны, нет нужды применять специальное оборудование.

1.3.2 Автоклавный способ

Автоклавная обработка осуществляется в среде насыщенного и перегретого водяного пара в автоклаве [32]

При автоклавной обработке в цементном камне химические реакции протекают полнее, так как обработка идет при давлении 0,9 -1,3 МПа и при температуре 175-193°С. За счет высокой температуры и давления кремнеземистый компонент (песок), вступает в реакцию со свободной известью, выделяющейся при твердении цемента, песок активно участвует в твердении [33]. Что обуславливают ускорение процесса твердения автоклавного бетона

Автоклав представляет собой герметично закрывающейся цилиндрический котел диаметром 2-2,6 метров, длиной 17,5- 20,5 метров и толщиной стенок 12-14 мм. Изготавливаются автоклавы из истовой стали и рассчитаны на рабочее давление 0,8-1,2 МПа. Внутри автоклава уложены узкоколейные пути для передвижения вагонеток с изделиями. Автоклавы оборудованы манометрами, термометрами, предохранительными клапанами и другими приборами [34-35].

Основной целью автоклавирования является образование нового минерала- тоберморит.. Благодаря образованию этого минерала, повышается прочность материала и уменьшается усадка [36-38]

Автоклавная обработка разбивается на четыре этапа:

1. Подготовка газобетона к подъему давления

Первый этап может включать:

- продувку или предварительный подогрев изделий без давления
- предварительный подогрев изделий при давлении
- вакумирование

Целью первого этапа является оптимальная подготовка сырца и среды в автоклаве к процессу подъема давления (второй этап)

Постепенное снижение давления в автоклаве приводит к кипению воды в самой теплой части массива (в сырце). Давление продолжают снижать и кипение продвигается от сырца наружу, что приводит к полному удалению воздуха из материала. При постепенном снижении давления материал разогревается, и температура по толщине массива выравнивается

2. Подъем давления

Целью второго этапа является разогреть материал до температуры изотермической выдержки .

Разогрев идет при температуре 190-193 °С. при этом происходит образование конденсата, который переносит тепло в бетон. Конденсация происходит благодаря конденсации горячего пара на относительно холодной

поверхности массивов, температура которых в начале процесса ниже температуры насыщенного пара. Конденсация воды из пара может происходить как в виде капель воды, так и в виде закрытых водяных пленок.

3. Изотермическая выдержка ячеистого бетона при определенной температуре и давлении.

Целью третьего этапа является обеспечение выдержки для глубокого протекания химических реакции образования новых материалов.

Время выдержки зависит как от номенклатуры продукции, так и от ее плотности. Для плотности 350- 500 кг/м³ оптимальное время выдержки 360 минут при давлении 12 бар.

1. Сброс давления и подготовка изделий к выгрузке из автоклава.

Сброс давления должен происходить плавно. Продолжительность сброса давления зависит в основном от номенклатуры продукции и от плотности изделий [40].

1.4 Формирование пористости и прочности газобетона

Характерной особенностью ячеистых бетонов является наличие пор, которые занимают объем от 50-92 % , а так же наличие межпоровых перегородок. После твердения ячеистая структура дает систему с твердой средой и газовой дисперсной фазой – твёрдую пену. Прочность и устойчивость ячеистой структуры до твердения, определяется свойствами пленочного каркаса. Со временем, межпоровые перегородки утончаются и, если не происходит твердение ячеистобетонной массы, пузырьки газа взрываются, и структура ячеистобетонной массы разрушается. Поэтому, важно знать процесс формирования ячеисто бетонной структуры и факторы, которые могут влиять на свойства ячеистого бетона.

1.4.1 Влияние газообразователя на структуру и свойства газобетона

Формирование пористой структуры газобетона происходит в результате выделения определенного объема газа, образующегося на поверхности равномерно распределенных микрочастиц газообразователя (алюминиевая пудра), например, при протекании химической реакции между алюминиевой

пудрой и гидроксидом кальция выделяется водород (H_2) и вспучивает ячеисто-бетонную смесь и образует пористую структуру ячеистого бетона [41].



Газообразование включает три стадии:

- зарождение газовых пузырьков на поверхности частиц алюминиевой пудры;
- увеличение объема пузырьков;
- стабилизацию размеров и локализацию газовых пузырьков – пор.

Ячеистая структура формируется при одновременном процессе газовыделения и нарастании структурной прочности ячеисто-бетонной смеси. Оптимальными условиями формирования макроструктуры бетона считаются, те при которых срок, когда заканчивается интенсивное газовыделение совпадает с моментом оптимальных значений пластических характеристик, для газобетона это 22 минуты [41].

Объем выделяемого газа (H_2) зависит от качества и количества—известки, воды и алюминия. По массе алюминия в ячеисто-бетонной массе меньше всего других компонентов (цемент, известь и кремнезёмистый компонент) на много больше. Поэтому, важно дозировать количество газообразователя в ячеисто-бетонной смеси.

Если уменьшить количество газообразователя, происходит газообразование в малых объемах, поэтому ячеисто-бетонная масса плохо вспучивается, вследствие чего повышается средняя плотность бетона.

При увеличении количества газообразователя, выделяется избыточное количество водорода, что приводит к интенсивному газовыделению и интенсивному нарастанию структурной прочности, из-за чего смесь уплотняется и оседает, увеличивается средняя плотность.

1.4.2 Прочная межпоровая перегородка

Структура ячеистого бетона состоит из пор ячейкового вида и плотных межпоровых перегородок, прочность которых, в основном, и определяет

значение прочности газобетона. Межпоровая перегородка образуется в процессе разделения смеси цемент-вода, где образуются пузырьки газа, которые увеличиваются в объеме .

Структура межпоровых перегородок (микроструктура) определяется:

- минеральным составом;
- степенью дисперсности и кристаллизации новообразований;
- плотностью и прочностью материала межпоровой перегородки;
- от вида, состава сырья и ячеистобетонной массы, В/Т отношения, условий поризации, формования и твердения ячеистых бетонов.

В начальный момент времени, межпоровая перегородка не достаточно стабильна, потому что состоит из продуктов гидратации и поровой жидкости, количество которой определяется водотвердым отношением. Введение тонкодисперсных добавок, повысит плотность упаковки частиц и сократит свободное поровое пространство в перегородке исходного состояния сформируется качественная межпоровая перегородка[42]. Что приведет к увеличению прочности при сжатии и изгибе.

1.5 Регулирование реологических свойств газобетонной массы

Формирование свойств газобетона начинается с момента приготовления бетонной смеси и продолжается на всех последующих этапах. Зная физико-механические свойства смеси и их зависимость от различных факторов, можно целенаправленно управлять параметрами структурообразования на всех этапах формирования газобетона. Это может быть достигнуто варьированием комплекса параметров:

- оптимизацией водотвердого отношения масс;
- регулированием температурного режима процесса вспучивания;
- соблюдения необходимых условий формования изделий

Водотвердое отношение- это отношение массы воды к массе вяжущего и кремнеземистого компонента. Регулируя воду затворения можно получать газобетоны одинакового объемного веса, но разной прочностью, структурой, с разными показателями усадки, водопоглощения и морозостойкости [43].

Низкое водотвердое отношение, уменьшает вязкое сопротивление суспензии, препятствуя пузырьку увеличиться до объема, который может занять содержащийся в пузырьке газ при данном давлении и температуре, в результате чего пористость будет неравномерной и уменьшится прочность.

Увеличенное водотвердое отношение, приведет к расслаиванию смеси и усадке [44].

Но, если увеличить до определенного водотвердого отношения структура улучшится и прочность увеличится.

Температурный режим процесса вспучивания.

Температурный режим вспучивания влияет на процесс вспучивания и на набор пластической прочности. Увеличение температуры массива способствует увеличению их подвижности массива и равномерному протеканию процессов вспучивания массива. Оптимальной температурой массива является 23 до 48 °С в зависимости от вида изделия. Дальнейшее увеличение (81-85) благоприятно повлияет на характер распределения пор в объеме, поры будут более мелкозернистые и прочность улучшается. Если дальше увеличивать температуру до 100 наблюдается «закипание» массива, процесс вспучивания пойдет более интенсивно и появятся трещины в межпоровой перегородке вследствие недостаточной газодерживающей способности.

Неравномерная температура внутри массива может вызвать миграцию влаги от участков с более высокой температурой к участкам с меньшей температурой и затруднениям процессов гидратации и твердения портландцемента [45].

Регулировать температуру можно за счет изменения температуры воды затворения, либо за счет корректировки исходного состава смеси [46].

Соблюдения необходимых условий формования изделий

При изготовлении газобетона вспучивание (газообразование) должно проходить в форме. Этот процесс весьма тонкий, так как требует тщательного регулирования, температуры газобетонной массы, температура формы и механического воздействия.

На производстве используют три метода формирования газобетонной массы :

Литьевая технология предполагает вспучивание в неподвижной форме. Здесь процесс регулируется путем прогрева, добавки воды или ПАВ. Применяется стендовый метод. При вибровспучивании форму со смесью размещают на виброплощадке, где она вибрирует с частотой до 150 Гц и малой амплитудой 0,6–0,2 мм. Время обработки – 3–6 минут, захватывает весь процесс газовыделения [47].

Агрегатно-поточный или конвейерный метод. Формы заполняются, передаются на виброплощадку, а затем на пост остывания, где снимается «горбушка», а изделие нарезается по размерам [48].

1.6 Влияние добавок на свойства газобетона

1.6.1 Влияние специальных добавок

Целью введения добавок, является повышение пластичности и удобоукладываемости и снижение В/Т ячеистобетонных масс.

Введение добавок позволит повысить плотность упаковки и сократить свободное поровое пространство в перегородке[49].

Процессы твердения и схватывания вяжущего компонента проходят медленно для портландцемента сроки схватывания (начало не ранее 45 минут), что бы ускорить процесс твердения и набор сырьевой прочности вводят добавки способные структурировать (упрочнить) сформированный массив. Для этих целей вводят полуводный гипс [42, 50].

Замедление процессов схватывания и твердения при использовании пластификатора (гипс), компенсируется введением ускоряющих добавок (хлорида кальция, сульфат натрия), которые повышают растворимость зерен цемента в водно-солевом растворе и увеличивают предел насыщения этого раствора за счет образования ряда комплексных солей (гидрохлоралюмината, оксихлорида), тем самым ускоряет твердения цемента [51].

Модифицирующие добавки: оказывают влияние на реологические свойства газобетона, к таким добавкам относятся микрокремнезем. С введением в смесь микрокремнезема в количестве 1–5% от массы цемента значения

реологических характеристик смеси повышаются. Добавка значительно увеличивают значения концентрации твердой фазы, степени гидратации и степени заполнения свободного порового пространства, что приводит к увеличению прочности межпоровой перегородки [52-53].

Волокнистые добавки, влияют на текучесть набухание формовочных смесей и увеличивают пластическую прочность.

Увеличение содержания каждой волокнистой добавки в пределах от 0,1 до 0,4% от массы твердых компонентов текучесть и набухание формовочных смесей уменьшается, а пластическая прочность увеличивается

Волокнистые добавки повышают прочность на сжатие и изгиб. Оптимальное содержание волокнистых добавок 0,3 %, от массы сухого материала. Большой прочностью на сжатие (относительно волокон) обладают образцы с добавлением углеродное волокно, наименьшей- каолиновое волокно. Все волокнистые добавки увеличивают прочность на изгиб больше, чем прочность на сжатие[54]

Многостенные углеродные нанотрубки (УНТ), выступают в качестве зародышей при твердении неавтоклавных и автоклавных газобетонов. Из-за масштаба этих частиц они могут не только изменять объемное поведение матрицы аналогично микро- и макроскопическим добавкам, но также влиять на образование и структуру CSH и других продуктов, образующихся в процессе гидратации цемента [55.]. Введение углеродных нанотрубок, улучшает механические и термические характеристики готово материала, а так же по позволяет стабилизировать смесь [56].

Пластифицирующие добавки, вводятся с целью увеличения подвижности растворных смесей, снижения водотвердого отношения, уменьшения осадка вспученной массы, в качестве добавки вводится ПАВ, который нередко получают из отходов химической промышленности [46, 57].

Делятся на пластифицирующие гидрофильного типа и гидрофобизирующие добавки. Пластифицирующие гидрофильного типа вводятся в смесь, для диспергирования коллоидной системы цемент- вода, тем

самым улучшая текучесть теста. К этим добавкам относятся сульфатно-дрожжевая бражка (СДБ), пластификатор адипиновой щелочной (ПАЩ-1), упаренная последрожжевая барда (УПБ).

Пластифицирующие гидрофобизирующие добавки вводятся в смесь для вовлечения мельчайшие пузырьков воздуха. Молекулы ПАВ, адсорбируются на поверхности системы цемент- вода понижают поверхностное натяжение воды, стабилизируют мельчайшие пузырьки воздуха. Тем самым добавка выполняет функцию стабилизатора и пластификатора. К гидрофобизирующим добавкам относятся: смола нейтрализованная воздухововлекающая (СНВ); натриевую соль абиетиновой кислоты; смолу древесную омыленную (СДО), синтетическую поверхностно-активную добавку (СПД) [58].

1.6.2 Влияние химических добавок на процессы твердения и гидратации цемента

Цементный камень и бетонный камень полиминеральны по составу, и, кроме того, продукты гидратации и твердения цементов, составляющих основу цементного камня и бетона, тонкодисперсны [59]. Тонкодисперсные продукты на первых этапах переходят в коллоидное (нанодисперсное) состояние, а затем в кристаллическое состояние, при этом формируется структура и прочность цементного камня. Изучив эти состояния (нанодисперсное и кристаллическое) можно выбрать внешнее энергетическое воздействия на систему «цемент-вода» что позволит управлять данной системой на ранних стадиях структурообразования. Выбор этих воздействий базируется на использовании уравнения Гиббса, которое является выражением объединенного уравнения первого и второго законов термодинамики [60].

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = P\Delta V + \sigma\Delta s + \mu\Delta n + \varphi\Delta q - T\Delta S, \quad (2)$$

где ΔG , ΔH , $T\Delta S$ – соответственно свободная энергия, энтальпийный и энтропийный факторы системы «цемент-вода»;

$P\Delta V$ – работа, совершаемая системой при изменении объема, или энергия, необходимая для производства этого изменения;

$\sigma\Delta s$ – работа, совершаемая системой при образовании новой поверхности, или энергия, выделяемая и ли поглощаемая при производстве этого изменения;

$\mu\Delta n$ – работа, совершаемая системой и ли энергия, выделяемая и ли поглощаемая при образовании новых химических соединений и взаимопревращений количества вещества в системе, а также изменений ее фазового состава;

$\varphi\Delta q$ – работа, совершаемая системой при изменении ее электрического потенциала и количества электричества в процессе изменения ионного состава жидкой и ли твердой фазы, при диспергировании и образовании новой поверхности.

Согласно уравнению 2 на систему «цемент-вода» можно оказать влияние:

- механическое,
- химическое
- электрофизическое
- тепловое.

Химическое воздействовать на систему «цемент-вода» можно добавками, которые приведут к изменению химического потенциала ($\mu\Delta n$) системы и величины ее поверхностной энергии ($\zeta\Delta s$), вследствие протекания обменных химических реакций с продуктами гидратации цемента. Воздействие химическое окажет существенное влияние на процессы гидратации и твердения цемента, позволяет регулировать строительно-технические свойства цемента и повышать активность клинкерных минералов при их взаимодействии с водой [61].

1.7 Предпосылки исследований

Из анализа литературных данных следует, что производство газобетона требует большого расхода сырьевых материалов, а большой расход сырья приводит к увеличению стоимости конечных изделий и энергоресурсов

соответственно. Основным сырьевым материалом является цемент, цемент занимает 50-90 % от общей массы сырьевой смеси. В связи с этим целью магистерской диссертации является исследование влияния химических и диспергирующих добавок на свойства газобетона и возможности интенсификации процесса гидратации и твердения цемента в составе газобетона. Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Изучить влияние добавок на модельных образцах цемента
- Исследовать действие добавок при помощи дифференциальной микрокалориметрии и дифференциально – термического анализа
- Исследовать влияние добавок на газобетонных образцах

РАЗДЕЛ 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе применялись общепринятые методики проведения лабораторных испытаний материалов согласно данным ГОСТ, а также методики, разработанные ведущими научно-исследовательскими институтами и ВУЗами.

2.1 Характеристика сырьевых материалов

Для исследований состава-структуры-свойств газобетона использовались сырьевые материалы: вяжущие вещества (цемент), газообразователь, добавки.

2.1.1 Портландцемент

В качестве основного вида вяжущего использовался портландцемент марки Цем I 42,5Б Топкинского цементного завода. Химический и минералогический состав представлен в таблицах 1, 2, согласно ГОСТ 31108-2003 [62]. Строительно – технические свойства приведены в таблице 3.

Таблица 1– Химический состав портландцемента, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	П.п.п	Сумма
20,52	4,59	4,26	63,72	1,83	2,90	1,09	98,91

Таблица 2 – Минералогический состав портландцемента, %(масс)

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO _{св}	MgO	гипс	Сумма
56,90	14,50	7,80	11,20	0,90	2,50	4,76	98,56

Таблица 3 – Строительно - технические свойства портландцемента

Свойства, размерность	Значение
Нормальная плотность, %	27,00
Предел прочности при сжатии в возрасте , 2 сут, МПа	21,3
Признаки ложного схватывания	Отсутствуют
Вспомогательный компонент, %	0, 00

2.1.2 Газообразователь

В качестве основного газообразователя использовалась гидрофильная алюминиевая пудра марки RA-60, производство «СУАЛ-ПМ» г. Шелехов.

Гидрофильная алюминиевая пудра представляет собой смесь тонкоизмельчённых частиц алюминия пластинчатой формы со специальной органической добавкой, обеспечивающей гидрофильные свойства алюминиевой пудре, общее содержание органики не более 5 %. В таблице 4 приведены характеристики алюминиевой пудры

Таблице 4. Характеристики алюминиевой пудры марки RA-60.

Марка алюминиевой пудры	Содержание активного алюминия, %	Смачиваемость в воде
RA-60	92	+

Алюминиевая пудра соответствует требованиям ГОСТ 5494-95[63].

Алюминиевая пудра вводилась в газобетонную смесь в виде тонкомолотой смеси с кварцевым песком (1:5).

2.1.3 Вода

Для приготовления легких бетонов применялась вода, удовлетворяющая техническим условиям ГОСТ 23732 [64].

Вода не должна содержать вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению вяжущих. Сточные воды, а также воды, загрязненные вредными для цемента примесями. Не допускается содержание в воде пленки нефтепродуктов, масла. Обычно все воды, пригодные для питья, пригодны для затворения бетона.

Применять морскую воду для наружных стеновых элементов не рекомендуется, так как на поверхности изделий могут появиться солевые выцветы. Технические свойства воды приведены в таблице 5.

Таблица 5- Технические свойства воды.

Свойства	Размерность	Значение
Содержание органических поверхностно - активных веществ	мг/л	≤10
Окисляемость воды		≤15
Содержание растворимых солей		2000
Содержание взвешенных частиц		200
Водородный показатель воды (рН)		4-12, 5

2.1.4 Формовочный гипс

В качестве добавки использовался двуводный гипс, который имеет остаток на сите № 02 не более 13 %. Технические свойства гипса приведены в таблице 6.

Таблице - 6. Технические свойства гипса.

Свойства	Значение
Нормальная густота гипсового теста, %	60
Истинная плотность, г/см ³	2,5
Насыпная плотность, г/см ³	1,35
Удельная поверхность, г/см ³	2,65

2.1.5 Динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б)

В качестве добавки использовалась динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б).

Динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б) представляет собой белый кристаллический порошок или кристаллы белого цвета, хорошо растворимые в воде. Технические свойства динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б) в соответствии с ГОСТ 10652-73 [65] представлены в таблице 7.

Таблице 7- Технические свойства динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б)

Свойства	Значение	
Растворимость в воде, при t = 20 °С	100 г/л	
Растворимость в воде, при t = 80 °С	230 г/л	
Молярная масса, г/моль	безводный продукт	336,21
	Дигидрат	372,24

2.1.6 Микрокремнезем

В качестве добавки использовался микрокремнезем, производства ООО «Братский завод ферросплавов» г. Братск.

Микрокремнезем (силикатная пыль, микросилика, silica fume) — представляет собой ультрадисперсный материал, состоящий из частиц сферической формы, получаемый в процессе газоочистки технологических печей при производстве кремния и ферросилиция [66]. Основным компонентом материала является диоксид кремния аморфной модификации. Химический и физико-химический состав микрокремнезема представлены в таблицах 8 и 9

Таблица 8 -Химический состав микрокремнезема .

Содержание оксидов, мас . %							
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	SO ₃	Примеси
91, 7	0,4	0,5	1,2	-	-	-	2, 0

Таблица -9 - Физико-химические характеристики дисперсных отходов

Содержание SiO ₂ , %		Средний размер частиц, мкм	Насыпная плотность, т/м ³	Истинная плотность, т/м ³	Гидравлическая активность, мг CaO/г	Водопотребность, %
В сплавах	В отходах					
97...98	92/92	0,2	0,15	2,16	102	42

2.1.7 Хлорид кальция(CaCl₂)

В качестве добавки использовался хлорид кальция, технический.

Хлорид кальция это светло-серое гранулированное, зернистое гигроскопичный вещество, без запаха. Энергично поглощает водяные пары, образуя твердые гидраты. Безводный кальция хлорид растворяется в воде с выделением тепла, в низших спиртах и жидком аммиаке с образованием сольватов, растворяется в ацетоне. Технические свойства хлорида кальция согласно ГОСТ 450–77[67] представлены в таблице 10

Таблица 10- Технические свойства хлорида кальция

Свойства	Значение
Молярная масса, г/моль	111, 08
Плотность, т/см ³	2,15
Растворимость в воде, мл	74,5
Температура плавления, °С	772
Водородный показатель (рН)	8-9

2.1.8 Карбонат натрия (кальцинированная сода)

В качестве добавки использовался карбонат натрия в форме декагидрата ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Карбонат натрия (кальцинированная сода)- неорганическое соединение, натриевая соль угольной кислоты с химической формулой Na_2CO_3 . Бесцветные кристаллы или белый порошок, хорошо растворимый в воде. Свойства карбоната натрия согласно ГОСТ 5100-85 [68] представлены в таблице 11

Таблица 11- Свойства карбоната натрия

Свойства	Значение
Молекулярная масса, г/моль	286,14
Температура плавления, °С	32
Плотность, г/см ³	1,446(при 17 °С)

2.2 Методы исследования

2.2.1 Определение физико-механических свойств образцов

2.2.1.1 Определение прочности при сжатии

Суть метода заключается в фиксировании максимального напряжения, которое образец способен вынести без разрушения [69]

Прочность при сжатии – это максимальное сжимающее напряжение, которое выдерживает образец до разрушения.

Исследуемый образец помещают в центре опорной плиты и прижимают верхней частью прессы, при этом верхняя часть прессы должна плотно прилегать ко всей верхней части грани. Нагрузка на образец увеличивается непрерывно и равномерно, до момента когда показания манометра не станут уменьшаться. Фиксируется максимальное показание манометра. Предел прочности при сжатии измеряется в МПа и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{P \cdot S}{a \cdot b} \cdot 0,1, \quad (3)$$

где P – показания манометра, кгс/см²;

S – площадь поршня, см²;

a·b – площадь образца, см².

2.2.2 Физико-химические методы анализа

2.2.2.1 Электронная микроскопия

Исследование проводилось для изучения микроструктуры газобетона и модельных образцов цемента. Определение микроструктурных характеристик исследуемых объектов производилось с помощью электронного микроскопа фирмы Jeol (Япония).

Интерпретация электронно – микроскопической картины сложна и требует значительного опыта, особенно в случае многофазных материалов. Поэтому, электронная микроскопия используется в сочетании с другими методами анализа [70-71].

Микроскоп позволяет получить объемное изображение с увеличением 60 000 раз что дает возможность различить фрагменты размером 10 нм. Съемку образцов проводили при следующих режимах: ускоряющее напряжение электронного пучка 10 – 15 кВ, рабочее расстояние съемки 1–100 мм и увеличение до 6 000 раз.

Идентификация кристаллов осуществлялась по их внешнему виду.

2.2.2.2 Дифференциально – термический анализ

Для проведения термоанализа использовался прибор дифференциально – термического анализа. Измерительная часть приборов для термического анализа по методу ДТА состоит обычно из трех термопар (рис.1).Одной из них (термопара №3) измеряется температура печи, а остальными двумя включенными навстречу друг другу термопарами при помощи высокочувствительного гальванометра измеряется разность температур между печью и пробой. Проба помещается в одно из трех отверстий блока держателя пробы и в нее укладывается спай первой термопары. Спаи второй и третьей термопар, измеряющих температуру печи, окружают инертным веществом, не претерпевающим никаких изменений под влиянием тепла, но создающим условия теплопередачи, почти тождественные условиям, в которых находится исследуемое вещество.

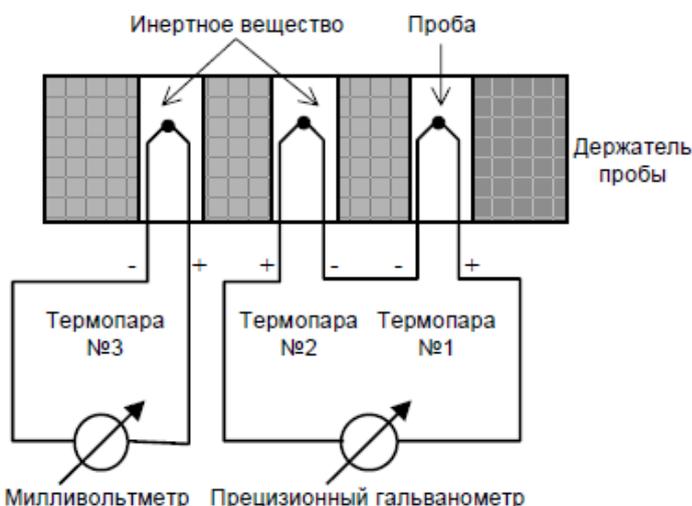


Рисунок 1 – Дифференциальная схема термического анализа

Держатель пробы нагревается с помощью регулируемой электрической печи. По этой схеме, если температуру держателя равномерно увеличивать, то температура пробы и инертного вещества равномерно повышается до тех пор, пока в исследуемом веществе не начнется химическая реакция или другое превращение с тепловым эффектом. С этого момента, в зависимости от того, является ли реакция экзотермической или эндотермической, начинается, соответственно, повышение или снижение температуры пробы, таким образом, разность потенциалов между полюсами первой термопары останется неизменной или же начнет повышаться быстрыми темпами. Поскольку эта разность компенсируется равномерно увеличивающимся напряжением второй термопары не будет, гальванометр даст показания, по знаку и величине соответствующие разности температур.

Если показания гальванометра снимают в зависимости от температуры, наблюдаемой по милливольтметру (например, через каждые 5 или 10 К), и полученные таким способом данные изображают графически, то получают кривые, подобные графику, представленному на рис. 2

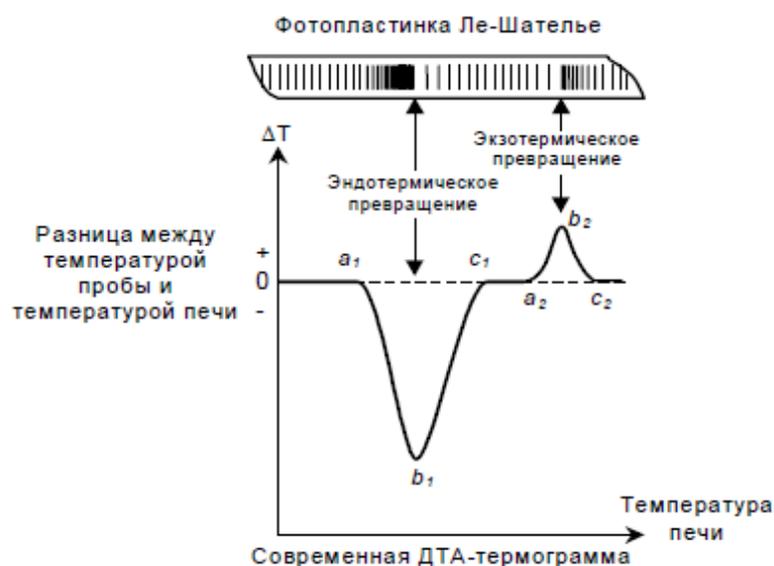


Рисунок 2 – Кривая дифференциально – термического анализа

По оси ординат отложена разность температур (пропорциональная отклонению гальванометра), наблюдаемая между пробой и инертным веществом. По оси абсцисс отложено время, которое пропорционально температуре в печи в том случае, если температура последней увеличивалась

равномерно во времени. Прямая горизонтальная часть кривой и ее дополнительный отмеченный пунктирной линией участок являются основной линией, которая была бы получена, если бы в исследуемом веществе не произошло никакого термического превращения. Кривые ДТА условно строят так, что эндотермический максимум откладывают от основной линии вниз, а экзотермический максимум – вверх. Минимумом кривой считается наиболее приближенная к основной линии точка между двумя эндотермическими или экзотермическими процессами, плотно сопровождающими или перекрывающими друг друга. В том случае, если реакции сильно перекрывают друг друга, возможно, что на кривой минимум не проявится, а появится только точка перегиба. Термические превращения характеризуют как пиковыми температурными значениями (точка b на рис.2.5), иными словами, температурой, при которой скорость процесса достигает максимального значения, так и температурами начала (точка a) и конца термического (точка c) процесса [72].

Кривые ДТА на практике регистрируются автоматически. Разностный сигнал с термопар подается на какое - либо регистрирующее устройство, фиксирующее его величину через определенный временной интервал. Градуировка термограммы производится, обычно, по температурной кривой, измеренной в инертном материале и зафиксированной на том же регистраторе [73].

2.2.2.3 Дифференциальная микрокалориметрия

Дифференциальная микрокалориметрия используется для измерения количества тепла, выделяющегося при контакте сухих дисперсных материалов с водой или другими жидкостями. Схема дифференциального микрокалориметра представлена на рисунке 3.

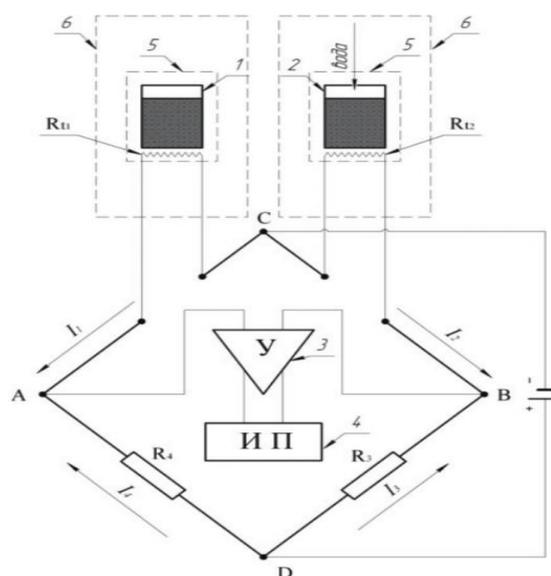


Рисунок 3 Схема дифференциального микрокалориметра

Устройство содержит две калориметрические ячейки, выполненные из металла с высокой теплопроводностью - латуни, меди, серебра. Под днищем каждой калориметрической ячейки (КЯ) расположены миниатюрные термометры сопротивления (ТС) и соединены они между собой по уравновешенной мостовой схеме.

Принцип работы дифференциального микрокалориметра: В КЯ-1 и КЯ-2, имеющие одинаковую массу, засыпается сухой исследуемый материал с равной массой навесок. В КЯ-1 материал остается сухим во все время проведения измерений. В материал КЯ-2 вводится расчетное количество воды (жидкости), в результате чего в материале выделяется теплота смачивания или гидратации, температура КЯ-2 увеличивается и повышает температуру расположенного под ним ТС R_{t2} . Увеличение температуры приводит к увеличению сопротивления R_{t2} , что приводит к разбалансу моста и появлению между точками А и В напряжения, которое через усилитель 3 поступает на измерительный прибор 4, фиксирующий тепловой эффект и его изменение во времени.

Использование двух термометров сопротивления в устройстве обусловлено необходимостью компенсации количества тепла, выделяемого в соответствии с законом Джоуля-Ленца ($Q=I^2Rt$) на сопротивлениях R_{t1} и R_{t2} ,

возникающие под действием напряжения источника питания, подключенного к диагонали моста в точках С и D.

Для исключения взаимного теплообмена между КЯ каждая из них размещается в индивидуальных малогабаритных теплоизолирующих сосудах 5 из пенопласта, с небольшим воздушным зазором между КЯ и внутренней стенкой сосуда. При проведении измерений после ввода воды в КЯ-2 каждый сосуд с КЯ закрывается пробкой из пенопласта. Для снижения теплообмена с окружающей средой эти сосуды дополнительно размещают в индивидуальные теплоизолирующие оболочки 6, выполненные из материала с низкой теплопроводностью [74].

РАЗДЕЛ 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Газобетон начал использоваться в качестве материала для заполнения стеновых пространств относительно недавно. Сейчас газобетон является серьезным конкурентом многим традиционным материалам, применяемым в строительной промышленности. Производители и потребители строительных материалов при выборе эффективных ресурса и энергосберегающих, экологически чистых строительных материалов выбирают материалы, которые смогут обеспечить долговечность, качество и комфортность зданий, а также значительно уменьшить экологическое воздействие на окружающую среду.

Газобетон является одним из самых долговечных искусственных строительных материалов. Его эксплуатационный ресурс рассчитан более, чем на 100 лет. В данном разделе описаны и проанализированы финансово-экономические аспекты выполненной работы. Произведена оценка денежных затрат на исследование и разработку портативного комплекса.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследования могут быть исследовательские лаборатории и заводы, направленные на разработку новых методов получения газобетона с различными диспергирующими добавками.

Производство строительных материалов в России продолжает стагнировать из-за падения объемов строительства. Несмотря на сложную ситуацию в отрасли, производители газобетона смогли подстроиться под кризис, минимизировать снижение объемов производства и увеличить суммарную долю проникновения материала на строительный рынок. В настоящее время газобетон производится на 200 предприятиях в 38 странах мира. Объем выпускаемой продукции составляет около 50 млн. куб. м. изделий в год.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Основным конкурентом на российском рынке является компания ЗАО «ЕВРОАЭРОБЕТОН». Завод спроектирован и оснащен передовыми технологиями производства инжиниринговой компанией из Германии – PHILCO. Автоматические производственные процессы стали возможны благодаря оборудованию SIEMENS, WEHRHANN, PFISTER, SEMTEC, SCHOLZ, НОКА, LOOS. Весь процесс изготовления контролируется специалистами высочайшего класса. Помимо этого предприятие имеет свои лаборатории, где проверяется качество выходящей продукции, которое имеет очень высокий уровень. Не смотря на свое недолгое существование фирма «ЕвроАэроБетон» крепко закрепились на рынке газобетонной продукции.

А так же завод ЗАО «ВОРОНЕЖСКИЙ КОМБИНАТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ». Газобетонные блоки предприятие начало производить с 2010 года и достигло довольно больших объемов в этом направлении, которое достигает 288 тыс. куб. метров в год. Качество продукции не вызывает сомнения, благодаря регулярной модернизации производственных мощностей по последнему слову техники и высокому профессионализму сотрудников.

Анализ был проведен сравнительно с двумя основными производителями газобетона в России: конкурент 1 – «ЕВРОАЭРОБЕТОН», конкурент 2 – «ВОРОНЕЖСКИЙ КОМБИНАТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ»

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 20

Таблица 20 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Механизация производства	0,09	4	4	4	4	5	5
Удобство в эксплуатации	0,06	4	4	4	5	5	4

(соответствует требованиям потребителей)								
Трудоемкость процесса	0,07	4	4	4	5	4	4	
Энергоэкономичность	0,06	5	4	4	5	4	4	
Надежность	0,04	5	5	4	4	5	4	
Безопасность	0,06	5	5	5	5	5	5	
Доступность сырья	0,09	4	4	4	4	4	4	
Простота эксплуатации	0,05	4	5	5	4	4	4	
Экологичность	0,05	5	4	5	5	5	5	
Экономические критерии оценки эффективности								
Конкурентоспособность продукта	0,05	5	5	5	5	5	5	
Уровень проникновения на рынок	0,04	4	4	4	5	4	4	
Цена	0,09	5	3	4	5	5	5	
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	4	4	4	4	4	
Финансирование научной разработки	0,05	5	5	5	5	5	5	
Срок выхода на рынок	0,04	5	4	5	4	5	5	
Наличие сертификации разработки	0,04	5	5	5	5	5	5	
Итого	1	72	65	66	78	77	76	

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (17)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 78 в то время как двух других аналогов 77 и 26 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как простота в эксплуатации, надежность, цена, конкурентоспособность. В безопасности уступает конкурентам так как установки для исследования лабораторные.

4.1.3 Диаграмма Исикавы

Диаграмма Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления. Причинно-следственная диаграмма по получению газобетона представлена на рис.28. Данная диаграмма помогает выявить основные причины возникновения проблем, анализ и структурирование процессов на предприятии, оценить причинно-следственные связи [78].



Рисунок 28 – Причинно-следственная диаграмма по получению газобетона с различными диспергирующими добавками.

Анализ причин и решения проблемы сведены в таблицу 21

Таблица 21 - Анализ причин и решения проблемы некачественной продукции.

Категория	Причина	Решение
Сырьевые материалы и готовая продукция	Низкое качество сырья, как следствие – нестабильный химический состав, примеси	Поиск поставщиков, выбор оптимального сырья

	Высокая стоимость отдельных реактивов	
	Задержки с поставками	
Измерения	Точность приборов	Поверка приборов
	Нестабильное качество	Соблюдение технологий производства
	Фракционирование	Регулирование фракций
Персонал	Низкая квалификация рабочих	Повышение квалификации
	Нехватка квалифицированного персонала (инженеров)	Прием на работу
Оборудование	Поломки	Соблюдение режима работы, качественное и современное техобслуживание

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка, полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). В таблице 22 показаны оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

Таблица 22 – Оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического Задела	5	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4
7.	Проведены маркетинговые исследования	5	4

	рынков сбыта		
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	5	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	5	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
12.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
13.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	5
14.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	65	56

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (18)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Разработка считается перспективной, так как значение и знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В качестве метода коммерциализации можно предложить *инжиниринг*. Данный вид коммерциализации предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных

процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции [79].

4.2 Инициация проекта

1. Цели и результаты проекта

Проект «Влияние диспергирующих добавок на свойство газобетона» выполняется Национальным исследовательским Томским политехническим университетом в интересах завода ООО «СУАЛ - ПМ». В данном разделе приводится информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

В таблице 4.3 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта - это заказчик и исполнитель, и их ожидания относительно результатов проекта. Также в таблице 4.4 сформулированы цели проекта и требования к его результатам.

Таблица 23 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Предприятия по изготовлению газобетонных блоков	Усовершенствование и упрощение технологического процесса, уменьшение материалоемкости.

Таблица 24 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Изучить влияние диспергирующих добавок на свойство газобетона
Ожидаемые результаты проекта:	Усовершенствование технологической линии по производству газобетона
Критерии приемки результата проекта:	Улучшение свойств газобетонных блоков
Требования к результату проекта:	Требование:
	Объемная плотность и предел прочности при сжатии соответствовал требованиям ГОСТ 25485 – 89 «Ячеистые бетоны»

2. Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Информация об организационной структуре представлена в таблице 25.

Таблица 25 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, ч
1	Митина Н.А.	Руководитель	Выбор направления исследований, формулировка темы, консультации и обсуждение полученных результатов	536
2	Шалабаева М.А	Исполнитель	Разработка плана работ, выполнение работ, обсуждение полученных результатов	920
Итого			1456	

3. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 26 - Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1 000 000
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	10.01.2019 – 1.06.2019
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	10. 01.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	02. 06.2019
3.3. Прочие ограничения и допущения*	Время использования научного оборудования

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Научно-исследовательскую работу можно разделить на отдельные части (этапы), содержание которых определяется спецификой темы. Как правило, НТИ включает в себя следующие этапы:

Подготовительный этап. К этому этапу относится сбор и изучение литературных данных, составление литературного обзора по выбранной тематике, подготовка рабочего места, подготовка исходных веществ и вспомогательных веществ.

Экспериментальный этап. Этот этап включает непосредственное проведение цикла экспериментов и обработку полученных результатов.

Обсуждение результатов, вывод о проделанной работе.

Заключительный этап. Выполнение графической части, оформление пояснительной записки.

Иерархическая структура НТИ представлена на рисунке 29.



Рисунок 29 – Иерархическая структура НТИ

4.3.2 Контрольные события проекта

Основные контрольные события проекта представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
-------	---------------------	------	-------------------------------------

1	Получение задания и составление плана работ	10.01.2019	
	Литературный обзор проблематики	19.01.2019	Литературный обзор в ВКР
2	Постановка цели и задач	20.02.2019	Раздел цели и задачи в ВКР
3	Разработка плана экспериментальных работ	20.02.2015	План работ
4	Исследование сырьевых материалов	14.03.2019	Результаты экспериментов, представленных в ВКР
5	Проведение эксперимента	23.03.2019	Результаты экспериментов представленных в ВКР
6	Обработка экспериментальных данных, обсуждение результатов	07.04.2019	Результаты экспериментов представленных в ВКР
7	Оформление графической части (таблицы, графики).	12.04.2019	Результаты экспериментов представленных в ВКР
8	Разработка презентаций и раздаточного материала	03.05.2019	Результаты экспериментов представленных в ВКР
9	Оформление пояснительной записки	25.05.2019	ВКР

4.3.3 План проекта

Календарный план-график выполнения научно-исследовательской работы по теме: «влияние диспергирующих добавок на свойства газобетона» представлен в календарном плане-графике (таблица 28)

4.4 Бюджет научного исследования

Бюджет затрат на выполнение научно-исследовательской работы рассчитывается по статьям калькуляции, которые включают две группы затрат – прямые затраты и накладные затраты.

Прямые затраты – это затраты на сырье, энергию, амортизацию оборудования.

Накладные затраты включают лабораторные затраты, связанные с освещением, отоплением, содержанием персонала.

Основными статьями калькуляции являются:

- затраты на сырье и материалы, покупные изделия;
- фонд заработной платы исполнителей;
- амортизация оборудования;
- накладные расходы, включающие затраты на содержание на административно-управленческого аппарата, по охране труда и т.п.;
- прочие затраты.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода

Затраты на сырье и материалы определяются по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^n G_i \cdot C_i \quad (19)$$

где Z_m – сумма затрат на сырье и материалы, руб.;

G_i – расход i -го компонента, ед.;

C_i – цена i -го компонента, руб./ед.

Результаты расчета затрат на сырье в процессе проведения НТИ представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Затраты на сырье на проведение НТИ

Наименование материалов	Цена за единицу, руб/кг	Потребляемое количество, кг	Сумма, руб
Алюминиевая пудра	180	6	1080
Цемент	6	30	180
Песок	80	5	400
ТрилонБ	230	2	460
Карбонат натрия	168	2	336
Кальций хлористый	38	2	76
Микрокремнезем	23,50	2	47
Гипс	25	2	50
Всего за материалы			2659
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			79,77
Итого по статье З _м			2738,77

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Определение стоимости спецоборудования производилось по действующим прейскурантам. Все необходимое оборудование, представленное в таблице 30, уже имелось в научной лаборатории, поэтому стоимость оборудования, используемого при выполнении нашего данной дипломной работы, должна учитываться в виде амортизационных отчислений.

Таблица 30 – Расчет спецоборудования для научных работ

№ п / п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Пресс ПГМ 100 МГ4	1	481 440	10	6980,88	481440

3	Весы аналитическое (Sartorius)	1	710 000	11	11 324,5	710 000
ИТОГО:						1 296
Доставка и монтаж (15%),						тыс.руб.
194 466						
Итого по статье,						тыс.руб.
1 490 906						

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Все оборудование имеется в наличии.

Основная заработная платы

Величина расходов по заработной плате определяется, исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Расчет основной заработной платы представлен в таблице 31.

Таблица 31 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс.руб.
1	Составление технического задания	Научный руководитель	9	1057,49	9517,44
2	Обзор литературы	Научный руководитель	32	1057,49	33839,68
		Магистрант	32		
3	Постановка цели и задач	Магистрант	2		
4	Разработка плана экспериментальных работ	Научный руководитель	20	1057,49	21149,8
5	Исследование сырьевых материалов	Магистрант	10		
6	Проведение эксперимента	Магистрант	15		
7	Обработка полученных данных	Научный руководитель	6	1057,49	6344,94
		Магистрант	6		
8	Оформление	Магистрант	22		

	графической части				
9	Разработка презентаций и раздаточного материала	Магистрант	21		
10	Оформление пояснительной записки	Магистрант	7		
Итого, тыс.руб.					70851,86

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (20)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;
 $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн. ;
 $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (21)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб. ;
 $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда);
 $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);
 $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Для руководителя (доцент) $Q_{\text{рук}} = 23264,86$ руб/мес.

На выполнение НИР понадобилось 144 дня.

$$Z_{\text{м рук}} = 23264,86 \cdot (0,3 + 0,2 + 1) \cdot 1,3 = 45366,48$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (22)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб. ;
 M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:
при отпуске в 24 раб.дня,
 $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней,
 $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;
 F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 32 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	144	144
Количество нерабочих дней	24	24
- выходные дни	19	19
- праздничные дни	5	5
Потери рабочего времени		
- отпуск	19	19
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	101	101

Среднедневная ЗП:

$$Z_{\text{дн.рук.}} = 45366,48 \cdot 10,4 / 144 = 3\,276,47 \text{ руб.}$$

Основная ЗП:

$$Z_{\text{осн.рук.}} = 3\,276,47 \cdot 244 = 471811,68 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 33.

Таблица 33 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	$k_{\text{пр}}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{\text{дн.}}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{\text{осн.}}$, руб.
Руководитель	23264,86	0,3	0,2	1,3	45366,48	3 276,47	144	471811,68

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данный раздел включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \text{ руб} \quad (23)$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 45\,366,48 = 5443,98, \text{ руб}$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12).

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (24)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (45366,48 + 5443,98) = 15\,344,76, \text{ руб}$$

Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (25)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,80 \cdot (45366,48 + 5443,98) = 40648,37, \text{ руб}$$

4.5. Организационная структура проекта

Из нескольких базовых вариантов организационных структур, использующихся в практике, нами была выбрана проектная, которую можно изобразить следующим образом:



Рисунок 30-. Проектная структура проекта

4.6. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (табл. 34).

Таблица 34- Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Исполнитель
Составление задания и составление плана работ	У	-
Литературный обзор	О	И
Постановка цели и задач	О	-
Разработка плана экспериментальных работ	С	И
Проведение эксперимента	-	И
Обработка экспериментальных данных, обсуждение результатов	О	И
Оформление результатов	С	И

4.7 Реестр рисков проекта

На пути реализации проекта могут возникнуть разного рода риски, представляющие опасность того, что поставленные цели проекта могут быть не достигнуты полностью или частично. Полностью избежать риска практически невозможно, но снизить их угрозу можно, уменьшая действие неблагоприятных факторов. Возможные риски представлены в таблице 35

Таблица 35 - Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска
Технические риски					
1	Требования	1	4	средний	Отслеживание изменений требований к материалом, с помощью которых проводится исследование. Постоянный поиск путей оптимизации производства..
2	Технология	1	3	низкий	
3	Использование ненадежных источников	2	4	средний	
4	Качество	2	4	средний	

Внешние риски					
5	Качество предоставляемых расходных материалов	2	4	низкий	Изучение конъюнктуры рынка. Страхование имущества. Изучение изменений в российском законодательстве. Определение мер поощрений и наказаний по отношению к рабочим.
6	Предписания контролирующих органов	3	3	средний	
7	Рынок	3	4	средний	
8	Непредвиденные обстоятельства	1	4	средний	
9	Изменения российского законодательства	4	5	высокий	
10	Небрежность и недобросовестность сотрудников	3	3	низкий	

В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых механических и прочностных характеристик газобетонных изделий.

4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.8.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Для оценки общей экономической эффективности инноваций в качестве основных показателей рекомендуются:

- чистый доход;
- чистый дисконтированный доход;
- внутренняя норма доходности;
- потребность в дополнительном финансировании;
- срок окупаемости;
- индексы доходности затрат и инвестиций и др.

Чистым доходом (другие названия – ЧД, Net Value, NV) называется накопленный эффект (сальдо денежного потока) за расчетный период, где суммирование распространяется на все шаги расчетного периода. Важно четко различать окончательную эффективность проекта и затраты предприятия до даты, когда проект начнет приносить прибыль.

Дисконтированный доход (другие названия - ЧДД, интегральный эффект, Net Present Value, NPV) - накопленный дисконтированный эффект за расчетный период. Дисконтирование представляет собой приведение доходов и расходов будущих периодов к текущему моменту с учетом временной стоимости денежных средств [80].

Определяем ЧД и ЧДД. Будем считать, что продолжительность шага расчета равна одному месяцу. Предполагается, что поступления денежных средств заносятся в таблицу со знаком "+", а расходование (оттоки) - со знаком "-". Составим план денежных потоков:

Таблица 36 – План денежных потоков

№	Показатель, млн.руб	Номер месяца					
		0	1	2	3	4	5
Операционная деятельность							
1	Выручка без НДС, тыс.руб	0	1300	2080	3380	4420	5460
2	Полные текущие издержки, в том числе:	0	-934,7	-1495,52	-2430,22	-	-
						3177,98	3925,74
3	прямые материальные затраты	0	-325	-520	-845	-1105	-1365
4	ФОТ основных рабочих, включая взносы во внебюджетные фонды	0	-400	-640	-1040	-1360	-1680
5	Силовая энергия	0	-65	-104	-169	-221	-273
6	Общепроизводственные расходы	0	-150	-200	-235	-250	-260
7	Общехозяйственные расходы	0	-100	-110	-115	-115	-130
8	Коммерческие расходы	0	-25	-28	-35	-47	-55
9	Прочие расходы	0	-30	-40	-50	-60	-70
10	Денежный поток от производственной (операционной) деятельности (п.1-п.2)	0	365,3	584,48	949,78	1242,02	1534,26
Инвестиционная деятельность							
11	Поступление инвестиций	0	0	0	0	0	0
12	Капиталовложения, обслуживание инвестиций	-450	-200	0	0	0	0
13	Сальдо от инвестиционной деятельности (п.11+п.12)	-450	-200	0	0	0	0
14	Сальдо суммарного потока (п.10+п.13)	-450	165,3	584,48	949,78	1242,02	1534,26
15	Сальдо накопленного потока	-450	-284,7	299,78	1249,56	2491,58	4025,84
16	Коэффициент дисконтирования при ставке дохода 30%	1,000	0,769	0,592	0,455	0,350	0,269
17	Дисконтированное сальдо суммарного потока (стр.14*стр.16)	-	127,15	345,85	432,31	434,87	413,22
		450,0					
18	Дисконтированные инвестиции (стр.12*стр.16)	-450	-	0	0	0	0
			153,84				
Срок окупаемости, отсчитанный от нулевого периода							2,4871
ИД							7,1936
ИД							1,684315
ВНД							181,98 %

Обычно проект считается устойчивым, если в расчетах по проекту в целом уровень безубыточности не превышает 0,6 - 0,7 после освоения проектных мощностей. Близость уровня безубыточности к 1 (100%), как правило, свидетельствует о недостаточной устойчивости проекта к колебаниям спроса на продукцию в данном периоде.

Расчет уровня безубыточности проекта приведен в таблице 37

Таблица 37 – Расчет безубыточности проекта

№	Показатель, млн.руб	Номер месяца				
		1	2	3	4	5
1	Выручка без НДС, тыс.руб	1300	2080	3380	4420	5460
2	Полные текущие издержки, в том числе:	934,7	1495,52	2430,22	3177,98	3925,74
3	Прямые материальные затраты	325	520	845	1105	1365
4	ФОТ основных рабочих, включая взносы во внебюджетные фонды	400	640	1040	1360	1680
5	Силовая энергия	65	104	169	221	273
6	Общепроизводственные расходы	150	200	235	250	260
7	Общехозяйственные расходы	100	110	115	115	130
8	Коммерческие расходы	25	28	35	47	55
9	Прочие расходы	30	40	50	60	70
10	Условно переменные издержки (стр3+4+5+8)	815	1292	2089	2733	3373
11	Уровень безубыточности УБт [(стр. 2 - стр.10)/(стр. 1 - стр. 10)]	0,2468	0,25827	0,26430	0,2637	0,26484

Из проведенных расчетов можно заключить, что устойчивость проекта особых подозрений не вызывает.

4.8.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность.

Чтобы определить эффективность исследования, необходимо рассчитать интегральный показатель эффективности научного исследования. Для этого определяют две средневзвешенные величины: финансовую эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (26),$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;
 Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;
 Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналогов).

Таблица 38 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки.

Вариант исполнения аналога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Стоимость электроэнергии	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	400,00	175360,44	1041,01	245185,83	74781,68	496768,96
2	350,00	68973,80	1041,01	248973,76	75937,00	395275,57

Найдем значения интегрального финансового показателя для всех вариантов исполнения научного исследования:

$$\text{Для нашей разработки: } I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{319984,34}{496768,96} = 0,64$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{496768,96}{496768,96} = 1$$

$$\text{Для второго аналога: } I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{395275,57}{496768,96} = 0,8$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы, то есть наша разработка обладает наименьшей стоимостью по сравнению с аналогами.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяют следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (27),$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;
 a_i – весовой коэффициент i -го параметра;
 b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;
 n – число параметров сравнения.

Результат расчетов представлены таблице 39.

Таблица 39 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	ПО			
	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,35	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	4
4. Энергосбережение	0,2	4	4	4
5. Надежность	0,07	5	4	4
6. Материалоемкость	0,08	4	4	4
ИТОГО	1	4,57	4,2	4,35

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \quad (28),$$

Для нашей разработки: $I_{финр}^p = \frac{4,57}{0,64} = 7,14$

Для первого аналога: $I_{финр}^{a1} = \frac{4,2}{1} = 4,2$

Для второго аналога: $I_{финр}^{a2} = \frac{4,35}{0,8} = 5,43$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (29),$$

Где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 40 – Сравнительная эффективность разработки с первым аналогом.

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Разработка	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,79	0,8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,52	4,57	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	4,2	5,78	5,43
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,38		1,06

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

4.9 Оценка научно-технического эффекта

С целью выяснения социально-научного эффекта исследования газообразователя для производства ячеистого бетона имеет место определить коэффициент научно-технического эффекта на основе оценок признаков работы:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i \cdot k_i, \quad (30)$$

где r_i – весовой коэффициент i -го признака (табл. 13);

k_i – количественная оценка i -го признака.

Таблица 41 – Примерные значения весового коэффициента для каждого признака научно-технического эффекта исследования

Признак научно-технического эффекта исследования	Примерное значение весового коэффициента (r)
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможности реализации	0,2

Поскольку данное исследование позволит, систематизировать и обобщить имеющиеся сведения определяют пути дальнейшего исследования количественная оценка уровня новизны разработки составляет 4.

Проект подразумевает элементарный анализ исследований газобетона с добавками, объясняют происходящие при проведении эксперимента. Следовательно, количественная оценка теоретического уровня полученных результатов – 2.

Время возможности реализации научного эксперимента в течении первых лет на базе лаборатории кафедры «ТСН» и на базе лаборатории завода «СУАЛ-ПМ», таким образом количественная оценка возможности реализации научных результатов равняется 10.

Таким образом, количественные оценки признаков социально-научного эффекта исследования газообразователя для производства ячеистого бетона:
 $k_1=4, k_2=2, k_3=10$.

Значит, коэффициент научно-технического эффекта проекта:

$$N_T = 4 \cdot 0,6 + 2 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,2 = 5,2.$$

В соответствии с полученным коэффициентом научно-технического эффекта его уровень можно оценить, как средние.

В результате проведения разработки раздела финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение было выяснено, что данное исследование оправдывает физические и материальные затраты.