

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

Инженерно-строительный институт  
институт  
Строительные материалы и технологии строительства  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ И.Г. Енджеевская  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

В виде научной работы

08.03.01 «Строительство»  
код, наименование направления

Разработка составов арболита на золе Абаканской ТЭЦ  
тема

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
к.т.н., профессор Шевченко В.А.  
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускники \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
Пагеев В.Е.  
инициалы, фамилия

Красноярск 2020

Продолжение титульного листа ДР по теме «Разработка составов арболита на золе Абаканской ТЭЦ»

Консультанты по разделам:

Состояние вопроса

наименование раздела

В.А. Шевченко

подпись, дата

инициалы, фамилия

Экспериментальная часть

наименование раздела

В.А. Шевченко

подпись, дата

инициалы, фамилия

Технологическая часть

наименование раздела

В.А. Шевченко

подпись, дата

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

В.А. Шевченко

инициалы, фамилия

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

Инженерно-строительный институт  
институт  
Строительные материалы и технологии строительства  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ И.Г. Енджеевская  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
в форме дипломной работы

Студенту Пагееву Вячеславу Евгеньевичу,

фамилия, имя, отчество

Группа СБ 16-41Б Направление (профиль) 08.03.01  
(номер) (код)

«Строительство» - профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Разработка составов арболита на золе Абаканской ТЭЦ

Утверждена приказом по университету №7630/с от 10.06.2020 г. Руководитель ВКР В.А. Шевченко, к.т.н., профессор СМиТС ИСИ СФУ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР бакалавра: изучить свойства сырьевых материалов; разработать состав бесцементного вяжущего и арболита на золе Абаканской ТЭЦ; разработать технологию производства арболитовых изделий.

Перечень разделов ВКР бакалавра: состояние вопроса, экспериментальная часть, технологическая часть, заключение. Перечень графического материала экспериментальная часть – 4 листа, технология производства – 1 лист.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

В.А. Шевченко

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

В.Е. Пагеев

инициалы и фамилия

«\_\_» \_\_ 2020 г.

## **РЕФЕРАТ**

Бакалаврская работа на тему «Разработка составов арболита на золе Абаканской ТЭЦ» содержит 57 страницы, 1 рисунок, 22 таблицы.

Графическая часть представлена пятью чертежами.

### **Ключевые слова:**

**ЗОЛА-УНОС, МИКРОКРЕМНЕЗЕМ, ЗОЛЬНО-КРЕМНЕЗЕМИСТАЯ КОМПОЗИЦИЯ, ДРЕВЕСНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ, АРБОЛИТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ,**

Цель работы заключается в разработке составов арболита на бесцементном вяжущем на золе Абаканской ТЭЦ и технологии его изготовления.

В работе изучены свойства сырьевых материалов, разработано бесцементное вяжущее на золе-унос Абаканской ТЭЦ, изучены его свойства, подобран состав арболита, выбрана технологическая схема изготовления изделий из арболита.

## **Содержание**

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>7</b>
<b>ГЛАВА 1. Состояние вопроса.....</b>	<b>9</b>
1.1 Общие характеристики и свойства арболита .....	11
1.2 Требования к сырьевым материалам для изготовления арболита .....	21
1.3 Существующие составы арболита и технологии изготовления арболита ....	24
Вывод по главе 1 .....	30
<b>Глава 2. Экспериментальная часть .....</b>	<b>32</b>
2.1 Применяемые материалы .....	32
2.2 Методика исследования.....	35
2.2.1 Методика испытаний золы-унос .....	35
2.2.2 Методика испытания древесного заполнителя .....	37
2.2.3 Методика расчета составов .....	39
2.2.4 Методика исследования свойств арболита .....	39
2.3 Исследование сырьевых материалов .....	39
2.3.1 Исследование свойств золы-унос .....	39
2.3.2 Исследование свойств древесного заполнителя .....	41
2.4 Разработка состава вяжущего .....	42
2.5 Разработка состава арболита.....	44
Вывод по главе 2 .....	44
<b>Глава 3 Технологическая часть.....</b>	<b>46</b>
3.1 Технологическая схема производства .....	47
Вывод по главе 3 .....	52
Заключение .....	54
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>55</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Еще 10 лет назад малоэтажное строительство (в основном – коттеджей и таун-хаусов) занимало всего 6 % от общего ввода жилья в России. В 2018 год составляет около 70% (68,6%), а доля многоэтажного - чуть более 30%. Загородное жилье перестало быть доступным только состоятельным гражданам, а само малоэтажное строительство явились значимой антикризисной мерой.

На сегодняшний день известно, что в Красноярском крае, малоэтажному строительству уделяется огромное внимание как со стороны краевых, городских властей, так и со стороны федеральной власти.

Малоэтажное строительство наиболее востребовано в рамках концепции развития территории на окраинах крупных и средних городов, однако современное малоэтажное, в т.ч. индивидуальное, строительство требует повышения комфортности жилья, его архитектурной выразительности, наличия подсобных встроенных или отдельно стоящих помещений, благоустройства территории и т.д., следовательно, необходимо использовать в строительстве наиболее качественные, долговечные и экологически чистые строительные материалы.

Для снижения стоимости строительства необходимо использовать местные ресурсы. Одним из доступных местных строительных материалов, который можно применять при возведении малоэтажных зданий в индивидуальном жилищном и хозяйственном строительстве, является арболит.

Арболит - это легкий бетон, состоящий из минеральных вяжущих и заполнителей (отходов лесозаготовок, деревообработки, костры льна и конопли, другого органического целлюлозного сырья), а также химических добавок и воды.

При производстве строительных материалов всегда необходимо учитывать снижение стоимости, материалоемкости и трудоемкости строительства, а также факторы, повышающие теплоэффективность зданий.

Производство большинства вяжущих является материало- и энергоемкими, потребляя большое количество невосполнимых природных ресурсов, а также оказывающие непосредственное влияние на атмосферу. В частности, производство цемента является источником 5% выбросов углекислого газа в мире. В связи с этим, определенный интерес вызывают отходы промышленности, применение которых является менее затратным и позволяет сократить источники загрязнения.

Зола-унос – тонкодисперсный продукт высокотемпературной обработки минеральной части углей. По ГОСТу, в зависимости от химического состава, подразделяется на кислые (оксид кальция до 10% по массе) и основные (оксид кальция более 10% по массе).

Золы ТЭЦ достаточно хорошо изучены и используются как активная минеральная добавка при производстве вяжущих веществ, приготовлении бетонов и строительных растворов, как минеральный порошок в асфальтобетоны и т.д. Однако, во всех перечисленных случаях зола используется как добавка в небольших объемах, что усложняет технологию, требует дополнительного технологического оборудования и увеличение производственных площадей.

Цель ВКР заключается в разработке составов арболита на бесцементном вяжущем на золе Абаканской ТЭЦ и технологии его изготовления.

## **ГЛАВА 1. Состояние вопроса**

Арболит – это легкий бетон, состоящий из минеральных вяжущих и заполнителей (отходов лесозаготовок, деревообработки, костры льна и конопли, другого органического целлюлозного сырья), а также химических добавок и воды. Обладает достаточной прочностью, способен выдерживать весовые нагрузки, при этом весьма легкий, не требующий устройства мощного и жесткого фундамента, является экологичным материалом.

Арболит применяют для строительства малоэтажных зданий жилого, хозяйственного и производственного назначения. Наибольшее применение получили арболитовые блоки или плиты для возведения перегородок, внутренних или внешних несущих стен. Также в связи с низкой теплопроводностью арболита, изделия применяют в качестве теплоизоляционного материала. За счет высокой морозостойкости, этот материал используют в регионах с холодным климатом.

Применение арболита позволяет снизить весовую нагрузку на основание здания, что снижает себестоимость домов в 2-3 три раза. Масса одного квадратного метра стены из арболита в 8 раза меньше кирпичной и в 3 раз керамзитобетонной.

Сравнительные характеристики арболита и других строительных материалов:

В отличие от бетона, арболит обладает меньшей плотностью и, следовательно, меньшим весом. Так, плотность бетона составляет 2300 – 2400 кг/м<sup>3</sup>., а арболита всего 400 – 850 кг/м<sup>3</sup>.

Арболитовые изделия обладают прекрасными строительными качествами: легко пилится, обрабатывается режущими инструментами, рубится, хорошо держит гвозди и шурупы. При подгонке до требуемых геометрических размеров, арболитовые блоки не откалываются, не рубятся, а максимально точно

распиливаются ножовкой до требуемого размера. На арболитовые поверхности хорошо наносятся различные лаки, краски и другие отделочные материалы.

Как показал сравнительный анализ, проведенный различными организациями, по теплоизоляции дома из арболита превосходят кирпичные коттеджи в 4–7 раз. Если теплопроводность различных видов кирпичей составляет  $0.5\text{--}1.5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Для арболита этот параметр по ГОСТу  $0.08\text{--}0.17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , то есть стена из арболитовых блоков толщиной 30 см соответствует кирпичной стене толщиной 100–190 см. Не стоит забывать и про потери тепла через «мостики холода», которые оставляет раствор при кирпичной кладке. И, если объём стандартного блока из арболита равен более чем 15 кирпичам, очевидно, что при его использовании в как минимум в 2.5 раза уменьшается расход цемента и песка, и значительно сокращаются теплопотери.

Для отопления помещений со стенами толщиной 200 мм из арболитовых блоков требуется в два раза меньше энергоносителей, чем для помещений со стенами кладкой в два кирпича (510 мм). По теплотехническим показателям арболит превосходит большинство материалов, традиционно используемых при строительстве загородных домов. Арболит также обладает хорошими звукоизоляционными свойствами.

Арболит - легкий бетон, получаемый на минеральном вяжущем и органическом целлюлозном заполнителе растительного происхождения, химических добавок и воде. Поэтому арболиту присущи прочность, огнестойкость, биостойкость бетона и небольшая плотность, теплопроводность, легкость обработки режущим инструментом и гвоздимость древесины.

К недостаткам арболита можно отнести: ограничение в применении в помещениях с большой влажностью (он обладает достаточно большим водопоглощением – 40-85%) и неустойчивость к воздействию агрессивных газов.

Наружную поверхность ограждающих конструкций из арболита необходимо отделывать материалом, имеющим надёжное сцепление с

арболитом (декоративным бетоном и т.п.) для защиты от влажности. В этих же целях при строительстве дома из арболита цоколь делают из бетона либо кирпича, а карниз выносят (как минимум – на 50 см).

Благодаря положительным свойствам арболитовые изделия нашли широкое применение в строительстве. Это стенные панели и блоки, плиты покрытия для совмещенных кровель плиты перекрытия, усиленные железобетонными брусками или несущей основой, перегородочные плиты для первых этажей культурно-бытовых зданий и магазинов, тепло- и звукоизоляционные плиты, объемно-пространственные конструкции, монолиты и т.п. Имелся опыт производства и применения в жилищном строительстве плит сборной стяжки под линолеум и паркет.

## **1.1 Общие характеристики и свойства арболита**

Арболит классифицируется по следующим признакам:

- основное назначение;
- структура.

По основному назначению разделяют:

- на теплоизоляционный;
- конструкционный;
- конструкционно-теплоизоляционный.

По структуре подразделяют арболит:

- плотной структуры;
- поризованной структуры;
- крупнопористой структуры.

Показатели качества арболита:

- средняя плотность;
- прочность на сжатие;
- прочность на осевое растяжение;

- теплопроводность;
- морозостойкость;
- паропроницаемость;
- влажность (отпускная, сорбционная, равновесная);
- водопоглощение.

### ***Основные виды и размеры***

ГОСТ 19222-2019 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия» классифицирует стеновые неармированные изделия из арболита по назначению:

- на блоки для кладки стен;
- опалубочные блоки;
- блоки специального назначения (акустические блоки для изготовления шумозащитных ограждений в заводских условиях).

Блоки изготавливают, в основном, в форме параллелепипеда. По заявке потребителя допускается изготовление блоков других форм и других размеров, отвечающие требованиям модульной координации размеров в строительстве.

Блоки для кладки стен изготавливают полнотельными или пустотельными путем уплотнения (вибрацией, вибропрессованием, литьем, трамбованием), в зависимости от принятой технологии их изготовления. Пустотельные блоки изготавливают с термовкладышем и без термовкладыша.

Высокопустотные опалубочные блоки и акустические блоки различной конфигурации изготавливают чаще всего вибропрессованием полусухой смеси, состоящей из цементного вяжущего, измельченной древесины, химических добавок и воды. Уложенные в проектное положение и залитые бетоном на строительной площадке блоки обеспечивают несущую способность строительных конструкций, выполняя одновременно теплоизоляционные и теплофизические функции. Несъемную опалубку из блоков, в отдельных

случаях, армируют на стройке, а поверхности стен подвергают отделке. Максимальные размеры блоков приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальные размеры блоков в мм

Наименование размера	Размер		
	Блок каменной кладки	Блок несъемной опалубки	Акустический блок
Длина	600	1000	1000
Ширина	400	380	250
Высота	250	250	250

Торцы у блоков могут быть плоскими, с пазами или иметь шпунт и гребень. Допускается изготавливать блоки с одной плоской торцевой гранью. Углы у блоков могут быть прямыми и закругленными.

Опорные поверхности блоков могут быть плоскими или иметь продольные пазы, расположенные на расстоянии не менее 200 мм от боковой поверхности блока.

Масса блока должна быть не более 30 кг.

Пустоты необходимо располагать перпендикулярно опорной поверхности блока и распределять равномерно по его сечению. Пустоты могут быть сквозными или несквозными.

Толщина наружных стенок пустотелых блоков должна быть не менее 35 мм.

Толщина вертикальной диафрагмы (минимальная толщина перегородок) должна быть не менее 40 мм, горизонтальная диафрагма для блоков с несквозными пустотами - не менее 20 мм.

По прочности на сжатие блоки из арболита для кладки стен подразделяют на марки: М15, М25, М35, М50.

Производитель по заявке потребителя может производить блоки размерами, отличными от приведенных в таблице 1, с учетом требований таблицы 2.

Допускаемые отклонения рабочих размеров отдельных блоков правильной формы должны соответствовать таблице 2.

Таблица 2 – Допускаемые отклонения в мм

Наименование показателей	Допускаемые отклонения
Отклонения геометрических размеров, не более:	
- по длине	± 5
- ширине (толщине)	± 5
- высоте	± 3
Толщине стенок и перегородок	+ 3
Отклонения от прямоугольной формы (разность длин диагоналей), не более	4
Отклонение ребер от прямолинейности и граней от плоскости, не более	3
Отклонение боковых и торцевых граней от перпендикулярности, не более	2
Примечание – Число блоков с предельными отклонениями геометрических размеров, формы, превышающими предельные, не должны быть более 5% числа блоков в каждой упакованной единице.	

В соответствие с ГОСТом 19222-2019, условное обозначение состоит: из сокращенного обозначения блока - Б, его области применения (СК - стеновой для кладки стен, НО - для устройства несъемной опалубки), назначения (НС - наружная стена, В - внутренняя стена, П - перегородка, А - акустический), вида блока с точки зрения его использования в кладке (Р - рядовой, УГ - угловой, Д - доборный), наличия пустот (ПТ - полнотелый, ПС - пустотелый), наличия термовкладыша - У, толщины бетонного ядра в сантиметрах, длины, ширины, высоты в сантиметрах, марки по прочности и средней плотности.

Пример условного обозначения блока несъемной опалубки для наружной стены, угловой с термовкладышем, толщиной бетонного ядра 15 см, длиной 55 см, шириной 38 см, высотой 25 см, марка по прочности арболита М25, марка средней плотности арболита D700:

*БНО – НС – УГ – У – 15 – 55 – 38 – 25 – М25 – D700 ГОСТ 19222-2019*

## ***Общиефизические свойства***

По средней плотности в сухом состоянии арболит подразделяют на марки: D300, D400, D500, D600, D700, D800, D900, D1000.

В зависимости от средней плотности в высушенном до постоянной массы состояния, арболит должен иметь марку:

- не выше D500 для теплоизоляционного арболита;
- D500 – D800 для конструкционно-теплоизоляционного;
- свыше D700 до D1000 для конструкционного.

Максимально допустимые значения фактической средней плотности арболита в высушенном до постоянной массы состояния в зависимости от вида заполнителя не должны превышать значений, приведенных в таблице 3.

Таблица 3 – Максимально допустимые значения фактической средней плотности арболита.

Класс арболита по прочности на сжатие	Максимально допустимое значение фактической средней плотности арболита, кг/м <sup>3</sup> , на измельченной древесине из отходов	
	лесопиления и деревообработки	лесозаготовок
B0,5	500	500
B1	500	700
B1,5	700	800
B2,5	800	900
B3,5	900	1000

Арболит имеет крупнопористую структуру, выделяют: арболит плотной структуры, у которого все пространство между древесными частицами (измельченной древесиной) заполнено затвердевшим раствором и порами вовлеченного воздуха, образованными за счет применения порообразующих добавок; арболит с крупнопористой структурой, у которого древесные частицы,

обработанные химическими добавками, скреплены небольшим количеством вяжущего, который, обволакивая тонким слоем древесные частицы, не полностью заполняет межзерновую пустотность дробленки; поризованный арболит, все пространство которого между частицами заполнителя заполнено вяжущем и порами вовлеченного воздуха, образованными за счет применения порообразующих добавок или технической пены.

Благодаря крупнопористой структуре материала, арболит имеет низкую теплопроводность, обеспечивая высокое термическое сопротивление, что позволяет сохранять тепло в конструкции, уменьшая расходы на отопление. Однако, поры открытого характера, что ухудшает гидрофизические свойства, а именно водопоглощение (40-85%), поэтому конструкции из арболита требуют нанесения защитного слоя (штукатурка, гидрофобизаторы и т.д.).

### ***Механические свойства***

Предел прочности арболита зависит от влажности, это наиболее заметно в диапазоне влажности от 0 до 60%. При этом арболит с равновесной влажностью 16,5–17% имеет наибольшую прочность, а образцы абсолютно сухого арболита и с влажностью более 70% –наименьшую прочность. Это объясняется тем, что частицы органического заполнителя, находящегося в арболите, при изменении влажности от 30 % (от точки насыщения клеток растительного волокна) до 0% уменьшаются в объеме из-за сушки в среднем на 12–15%, вследствие чего нарушается сцепление их с цементным камнем. Увеличение влажности арболита также приводит к снижению его прочности из-за набухания частиц заполнителя и снижения их связи с затвердевшим цементным камнем. Прочностные свойства арболита находятся в обратной зависимости от количественного содержания коры в древесном заполнителе. Прочность отрыва от арболита отделочного слоя из цементно-песчаного раствора составляет 1,4–1,8 МПа после циклов попеременного замораживания и оттаивания

По прочности в проектном возрасте арболит должен иметь следующие классы:

- на сжатие: B0,5; B1; B1,5; B2,0; B2,5; B3,5;
- на осевое растяжение: B<sub>l</sub>0,13; B<sub>l</sub>0,25; B<sub>l</sub>0,36; B<sub>l</sub>0,48; B<sub>l</sub>0,57; B<sub>l</sub>0,74.

Примечание - Для изделий (блоков, теплоизоляционных плит), монолитной теплоизоляции чердаков, кровель, полов, многослойных конструкций и т.д., запроектированных без учета требований обеспеченности, прочность блоков для кладки стен и арболита характеризуют марками по прочности на сжатие в проектном возрасте: M15; M25; M35; M50.

Прочность блока каменной кладки в проектном возрасте и при отгрузке потребителю должна быть не менее требуемой прочности для соответствующего возраста, которая назначается производителем в зависимости от соответствующей нормируемой прочности и однородности свойств изготавливаемого арболита.

Нормируемая прочность блока каменной кладки в проектном возрасте должна соответствовать установленной в таблице 4 для конкретного марок блока.

Таблица 4 – Прочность блока в зависимости от марки

Марка блока по прочности	Предел прочности при сжатии, МПа не менее	
	Средний для трех блоков	Наименьший для одного из трех блоков
M50	5,0	3,8
M35	3,5	2,7
M25	2,5	2,0
M15	1,5	1,2

Отпускная прочность блока должна быть не менее 85% проектной прочности.

Нормативные и расчетные характеристики арболита представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Нормативное сопротивление арболита

Вид сопротивления	Обозначение	Нормативные сопротивления арболита $R_{bk}$ и $R_{btk}$ , расчетные сопротивления предельных состояний группы $R_{bk,ser}$ и $R_{btk,ser}$ , МПа, при классе арболита по прочности на сжатие					
		B0,5	B1	B1,5	B2	B2,5	B3,5
Осевое сжатие	$R_{bk}$ и $R_{bk,ser}$	0,39	0,78	1,17	1,56	1,95	2,75
Осевое растяжение	$R_{btk}$ и $R_{btk,ser}$	0,13	0,25	0,36	0,48	0,57	0,74

Таблица 6 – Расчетные сопротивления арболита для предельных состояний первой и второй групп

Вид сопротивления	Обозначение	Расчетные сопротивления арболита для предельных состояний первой группы $R_b$ и $R_{bt}$ , МПа, при классе арболита по прочности на сжатие					
		B0,5	B1	B1,5	B2	B2,5	B3,5
Осевое сжатие	$R_b$	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	2,1
Осевое растяжение	$R_{bt}$	0,087	0,17	0,24	0,32	0,38	0,57

Значение модуля упругости арболита выбирается в зависимости от марки по средней плотности при средней естественной влажности по массе 15% - 20% и класса арболита по прочности на сжатие. Начальный модуль при сжатии и растяжении указан в таблице 7.

Таблица 7 – Начальный модуль при сжатии и растяжении

Марка по средней плотности арболита при средней естественной влажности по массе 15% - 20%	Значение начального модуля упругости арболита при сжатии и растяжении $E_b$ , МПа, при классе арболита по прочности на сжатие					
	B0,5	B1	B1,5	B2	B2,5	B3,5
D400	250	400	-	-	-	-
D500	340	500	750	-	-	-
D600	440	600	900	1150	1400	1700

Окончание таблицы 7

Марка по средней плотности арболита при средней естественной влажности по массе 15% - 20%	Значение начального модуля упругости арболита при сжатии и растяжении $E_B$ , МПа, при классе арболита по прочности на сжатие					
	B0,5	B1	B1,5	B2	B2,5	B3,5
D700	500	700	1000	1300	1500	2000
D800	-	800	1100	1400	1700	2300

### *Теплотехнические свойства*

Теплофизические свойства арболита зависят от плотности, вида заполнителя и характера расположения его частиц, количества цемента, пористости материала и других факторов. Удельная теплоемкость арболита 2–3 раза выше, чем минеральных материалов. Коэффициенты теплоусвоения и зависящие от них характеристики тепловой инерции у легких бетонов на органических заполнителях почти в 2 раза выше, чем у бетонов с минеральными составляющими. Значения коэффициента теплопроводности арболита в зависимости от состава заполнителя с учетом плотности и влажности материала представлены в таблице 8, теплотехнические свойства представлены в таблице 9.

Таблица 8 – Показатели арболита на древесной дробленке

Вид арболита	Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Влажность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*K)
На дробленке хвойной	520-720	6,2-12,4	0,11-0,20
На дробленке березовой	590-710	8,1-12,7	0,13-0,22
На дробленке буковой	660-770	9,4-16,0	0,12-0,26
На дробленке осиновой	440-650	7,8-9,2	0,08-0,19

Таблица 9 – Теплотехнические свойства арболита.

Марка по средней плотности	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°C)	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м·°C)	Расчетное массовое отношение влаги в материале, %, при условиях эксплуатации	Расчетные коэффициенты			
				А	Б	А	Б
D300	2,3	0,070	10	15	0,110	0,130	0,300
D400	2,3	0,080	10	15	0,130	0,160	0,260
D500	2,3	0,095	10	15	0,150	0,195	0,200
D600	2,3	0,120	10	15	0,180	0,230	0,150
D700	2,3	0,140	10	15	0,210	0,260	0,130
D800	2,3	0,160	10	15	0,240	0,300	0,110

Требования к показателям водопоглощения, сорбционной влажности, паропроницаемости и другим показателям, устанавливают в стандартах или технических условиях на изделия и конструкции конкретных видов, изготовленных на основе арболита, в зависимости от условий их применения.

Марку по морозостойкости арболита, применяемого в конструкциях конкретных видов, устанавливают в стандартах или технических условиях на эти конструкции и назначают по нормам строительного проектирования в зависимости от режима эксплуатации конструкций и расчетных зимних температур наружного воздуха в районе строительства. При этом марка по морозостойкости должна быть не менее F25.

Если блоки по назначению обеспечивают только ограниченную защиту от проникновения воды, допускается морозостойкость не нормировать.

Арболит марок по средней плотности выше D500 по показателям пожарной безопасности должен соответствовать:

- группе горючести Г1;
- группе воспламеняемости В1;
- группе по дымообразующей способности Д1;
- классу опасности по токсичности продуктов горения Т1.

## **1.2 Требования к сырьевым материалам для изготовления арболита**

Арболит относится к группе легких бетонов-конгломератов с композитной волокнистой структурой, основными компонентами которой являются стружки древесного органического заполнителя и минеральное вяжущее вещество

Связь между частицами органического заполнителя и вяжущими в водной среде обеспечивается раствором вяжущего, который в процессе перемешивания обволакивает поверхности частиц и проникает в их неровности, трещины и поры. В результате последующего твердения через определенное время происходит сцепление между зернами заполнителя и вяжущем. Величина сцепления – основной фактор, определяющий свойства и качество арболита. Легкие пористые частицы заполнителя снижают плотность, коэффициент теплопроводности, хрупкость изделий, улучшают теплозащитные, гигиенические и эксплуатационные свойства материала, а также позволяют распиливать и обрабатывать арболит различным инструментом. Минеральное вяжущее придает арболиту прочность, биостойкость, огнестойкость, морозостойкость и другие свойства, увеличивающие долговечность. На прочность и структуру арболита влияют предел прочности частиц заполнителя, количество водорастворимых, экстрактных веществ, противодействующих схватыванию и твердению вяжущего, форма, размеры частиц заполнителя, степень их водонасыщения и усушки, а также показатели удобоукладываемости арболитовой смеси, которые выявляются в процессе уплотнения и формирования готовых изделий

Сырьевые материалы для арболита нормируются требованиями ГОСТа 19222-2019 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия».

Согласно ГОСТу, в качестве вяжущих материалов применяют: портландцемент марки по прочности на сжатие не ниже ПЦ-400 Д0 по ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» или портландцемент (включая быстротвердеющие портландцементы) класса не ниже ЦЕМ I 42,5Д0 по ГОСТ 31108–2016 «Цементы общестроительные. Технические условия».

В зимний период рекомендуется использовать портландцемент ПЦ-500-Д0 по ГОСТ 10178-85 или ЦЕМ I 52,5Б по ГОСТ 31108-2016.

В качестве заполнителя используется измельченная древесина (дробленка) из отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки хвойных (ель, сосна, пихта) и лиственных (береза, осина, бук, тополь) пород.

Допускается после проведения комплексных исследований применение других пород древесины, комплексное использование дробленки, станочной стружки, опилок, смеси заполнителей из отходов древесины с пористыми или плотными минеральными заполнителями, а также с органическими заполнителями (например, со вспученным полистиролом).

Древесный заполнитель, как и целлюлозный, обладает рядом положительных свойств: малая средняя плотность, хорошая смачиваемость, легкость обработки, в частности дроблением и т.д.). К отрицательным свойствам относятся: повышенная химическая активность; значительные объемные влажностные деформации и развитие давления набухания; резко выраженная анизотропия; высокая проницаемость; низкая адгезия с цементным камнем; значительная упругость при уплотнении смеси.

Для изготовления заполнителей из древесины исходный продукт для снижения количества вредных экстрактивных веществ определенное время выдерживают на складах (хвойные породы — не менее 2 месяцев, лиственные — 6 месяцев). При положительной температуре выдержка сокращается до 1 месяца

при условии дальнейшего измельчения древесины в щепу. Дробленку хвойных и особенно лиственных пород обязательно замачивают в воде или в растворах минеральных солей. Они нейтрализуют действие вредных веществ в древесине, одновременно ускоряя твердение цемента.

К измельченной древесине, как к основному компоненту при производстве арболитовых изделий, предъявляются следующие требования:

- размеры частиц не должны превышать по длине 30 мм (оптимально 20 мм), по ширине 10 мм (оптимально 5 мм), по толщине 5 мм;
- содержание примеси коры в дробленке должно быть не более 10%, хвои и листьев – не более 5% массы дробленки;
- дробленка не должна иметь видимых признаков плесени и гнили, а также примесей инородных материалов (кусков глины, растительного слоя почвы, камней, песка и пр.), в зимнее время - примеси льда или снега;
- содержание водорастворимых редуцирующих веществ (сахаров) не должно превышать 2% (данний показатель не является браковочным признаком);

Гранулометрический состав приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Гранулометрический состав дробленки

Размер отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки дробленки на контрольных ситах, % по объему
20	До 5 включительно
10	От 25 до 50 включ.
5	От 40 до 75 включ.
2,5	От 70 до 100 включ.

Примечание – Производитель может сам определить характеристики гранулометрического состава дробленки и иметь данные по их стабильности.

В качестве мелких заполнителей допускается применять: пористые пески по ГОСТ 32496; природные пески по ГОСТ 8736; мелкий вспученный гранулированный полистирол (ПВГ) по ГОСТ 33929.

Для улучшения свойств арболитовой смеси и арболита следует применять химические добавки: ускоряющие твердение смеси; регулирующие пористость смеси и арболита; повышающие защитные свойства арболита по отношению к

стали (ингибиторы коррозии стали); повышающие бактерицидные свойства; регулирующие одновременно различные свойства арболитовой смеси и арболита (добавки полифункционального действия).

Показатели основного эффекта действия и критерии эффективности добавок должны соответствовать требованиям ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия».

Вода для приготовления арболитовой смеси и растворов химических добавок должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732.

### **1.3 Существующие составы арболита и технологии изготовления арболита**

На сегодняшний день, почти весь арболит производится на «традиционном» составе: цементное вяжущее, древесный заполнитель и добавки в виде жидкого стекла или сульфата алюминия.

Состав арболита определяют расчетно-экспериментальными методами. Расход цемента, органического заполнителя и воды зависит от класса арболита по прочности на сжатие. Для теплоизоляционного арболита классов В0,35-В1,0 расход цемента М400 составляет 260-360 кг/м<sup>3</sup>, а конструкционно-теплоизоляционного классов В1,5 и В2,5 - 330-450 кг/м<sup>3</sup>.

Минимальный расход цемента достигается при использовании дробленки из отходов лесопиления и деревообработки хвойных пород, а максимальный - из отходов лесозаготовок смешанных пород и костры. Расход хлорида кальция и жидкого стекла не должен превышать 8-9 кг/м<sup>3</sup>, сульфата алюминия - 15-20 кг/м<sup>3</sup>.

Недостатком данного состава являются использование в качестве вяжущего портландцемента – дорогостоящий строительный материал, главная статья расхода среди сырья для арболита. В соответствии с ГОСТом, нельзя

использовать портландцемент ниже марки М400, на практике для производства качественного арболита используется цемент марок не ниже М500.

Также, содержащиеся в древесные заполнители сахара, (сахароза, глюкоза, фруктоза, гемицеллюлоза и т.д.) при взаимодействии с щелочной средой цементного теста, способствуют выделению «цементных ядов», количество которых колеблется в значительных пределах в зависимости от породы древесины, условий и роков ее хранения. «Цементные яды» осаждаясь на поверхности частичек минералов цемента, образуют тончайшие оболочки, которые замедляют процесс гидратации цемента. Из-за нарушения процесса структурообразования, арболитовые изделия теряют в прочности и стойкости к влагопеременным воздействиям.

Для уменьшения отрицательного влияния «цементных ядов» были разработаны различные методы и технологические приемы: ускорение процессов твердения или нейтрализация вредных сахаров. На сегодняшний день, наибольшее распространение получил метод нейтрализации водорастворимых редуцирующих веществ путем добавок минерализатора. Наибольшее применение получили добавки: сульфат алюминия; хлорид кальция, хлорид алюминия; жидкое стекло; окись кальция; поливинилацетатная дисперсия и т.д. На сегодняшний день, большим спросом у производителей пользуется добавка сульфата алюминия, т.к. она имеет широкое распространение в продаже. Однако, для применения добавок требуется дополнительное оборудование, что усложняет технологические операции и увеличивает затраты на производство арболита.

Для получения арболитовой смеси в зависимости от региона применяют различные органические заполнители, минеральные вяжущие вещества, водные растворы различных химических добавок и воду. При производстве готовых изделий из арболита, кроме перечисленных материалов, используют инертные плотные заполнители для приготовления фактурных цементно- песчаных

растворов и бетонов, а также стальную арматуру, закладные детали, красители, керамические или стеклянные плитки и другие отделочные материалы.

Анализ мирового опыта свидетельствует о том, что большие возможности для строительной отрасли открываются с применением цементов и бетонов из минеральных вторичных материалов промышленности и органических растительных отходов. Эти вещества обладают рядом физико-механических и технико-эксплуатационных характеристик, значительно превышающих аналогичные свойства многих других минеральных вяжущих и композитов на их основе.

Арболит на основе гипсопуццоланового вяжущего. В арболите на основе гипсопуццоланового вяжущего в качестве органического заполнителя могут быть использованы измельченные стружки древесины и гипсопуццолановое вяжущее. Эта технология улучшает качество изделий, повышает однородность, уменьшает плотность, увеличивает морозостойкость, снижает коэффициент теплопроводности. В состав гипсопуццоланового вяжущего добавляют молтой песок и минерализаторы. Получение гипсопуццоланового арболита осуществляется по типовой схеме, аналогичной изготовлению бетонных изделий.

Исследованиями установлено, что при использовании в качестве древесного заполнителя материалов, получаемых из отходов деревообработки, можно получить шлакощелочной теплоизоляционно-конструкционный и конструкционный арболит, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 19222 и ГОСТ 25820, а при использовании опилок –теплоизоляционный арболит. Получение арболитовых изделий из кальциевых, цементных, шлакощелочных серосодержащих вяжущих и древесных отходов научно обосновано и подтверждено практикой строительного производства.

Имеется ряд исследований на добавку или замену цементы на щлакощелочные и серосодержащие вяжущие. Выявлены закономерности получения шлакощелочных вяжущих с добавкой высококальциевой золы-уноса

повышенной адгезионной способности к органическим волокнистым материалам арболитобетона. Добавки серы уменьшают пористость, что увеличивает прочностные показатели. Применение композиционных активированных вяжущих в производстве легких бетонов, позволяет интенсифицировать твердение шлакошелочных и серосодержащих арболитовых составов, а также повысить их прочность на 50–70 % при умеренном расходе цемента, что способствует организации безотходного производства.

Исследования Аксенова А. В. в диссертации «Композиционное бесцементное вяжущее из механохимически активированных промышленных отходов и мелкозернистый бетон на его основе» показали, что использование композиционного бесцементного вяжущего с содержанием высококальциевой золы порядка 80% в течение 6-10 мин позволяет получать композиционное бесцементное водостойкое вяжущее, имеющее прочность при сжатии в возрасте 28 суток равную 50-57 МПа.

Проводились исследования по замене цементного вяжущего в арболитовой смеси на зольно-кремнезистую композицию. В исследованиях применялась высококальциевая зола-унос Красноярских ТЭЦ, получаемая от сжигания бурых углей Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса. Для нейтрализации свободного CaO в состав вяжущего добавлялся микрокремнезем Братского алюминиевого завода. В качестве активизатора твердения зольно-кремнезистой композиции использовали солевые (минерализованные) стоки – попутный продукт аффинажного производства завода «Красцветмет». Результаты исследований показали возможность получения низкомарочного арболита, оптимальным является состав, содержащий 2 % солевых стоков от массы сухих компонентов смеси, который обеспечивает получение композиции с прочностью при сжатии в 28 суток 35,6 МПа, сопоставимой с прочностью цементного вяжущего. Сроки схватывания композиции при этом отвечают стандартным требованиям. При более высоких расходах стоков прочность

несколько повышается, но сроки схватывания сокращаются до не регламентируемых значений.

Проводились исследования влияния различных заполнителей на основе гипсозолощелочного вяжущего. По результатам экспериментальных данных предложен рациональный комплексный состав растительно-вязущей композиции (РВК) для водостойкого стенового арболита из местного сырья, состоящий из 24–32 % соломы; 30–34 % гипса с 0,05 % нитроплопериметилфосфорной кислотой (НТФ); 18–22 % золы; 0,15 % сульфатно-дрожжевой бражки (СДБ) с 5 % ПЦК; 3–2 % глиногипса; 8–12 % полимерсиликатных добавок (ПСД) (на основе малоконцентрированного олигомера СФЖ-3066 + 0,2 бутадиенстирольный латекс (СКС) и 0,15 % лигносульфата технического (ЛСТМ); 0,8 % катализаторов ТПФН, 0,5 % отвердителя и остальное вода. На данном составе был получен арболит с прочностью на сжатие в возрасте 28 суток порядка 32 МПа.

На сегодняшний день, существует множество способов производства арболита. Большинство из них являются трудоемкими, слабо механизированными «кустарными» методами и не позволяют получить арболит хорошего качества, не удается выдерживать размеры блоков, качество граней и ребер. И. Х. Наназашвили выделил четыре технологические линии, способные массово производить арболитовые изделия хорошего качества:

1) Способ силового вибропроката. При данном способе, стальная форма заполняется арболитовой смесью, предварительно уплотняется катком укладчика, при этом вибрируется на вибростоле. Окончательное уплотнение происходит на вибровалке. Готовое изделие предается по конвейеру в камеру тепловой обработки, где выдерживается при температуре 40-50°C в течение 20-24 ч. После снимают опалубку и изделия поступают на участок выдержки. К достоинствам данного способа можно отнести хорошее качество изделий, осуществление любого армирования и установка закладных деталей. Недостатками данного способа являются: ширина изделий ограничивается

размером вибровалка; оборудование довольно сложно в изготовлении; затруднено получение арболита с высокой средней плотностью.

2) Способ вибропрессования. Изготовление арболитовых изделий осуществляется в стальных формах с фиксирующими крышками. Форма накрывается фиксирующей крышкой и подается на тележке в вибропрессовальную установку. Под действием вибрации и сжатия гидродомкратов крышка утапливается в форму и защелкивается. Изделия в форме с зафиксированной крышкой выдерживаются в цехе до достижения распалубочной прочности. Достоинствами данного способа являются возможность получения изделий хорошего качества с любой требуемой средней плотностью. Недостатками являются большой расход металла и быстрый износ гидравлических домкратов.

3) Способ вибрирования с пригрузом. Основой данного способа является достижение максимально плотной упаковки частиц заполнителя арболитовой смеси в форме без создания напряженного состояния в отформованном изделии. Для этого, на заполненную форму кладется пригруз, который ложиться на пуансон. Форму с пригрузом отправляется на виброплощадку, где под действием пригруза, пуансон опускается в форме до упоров, уплотняя смесь. Частицы заполнителя стремятся занять свободные места в объеме, а не сжиматься, т.е. происходит оптимальная упаковка заполнителя, что обеспечивает хорошее уплотнение смеси, а, следовательно, наибольшее число контактов в уплотненной структуре. Данный способ экономичен, прост в изготовлении, обслуживании и позволяет получать качественные арболитовые изделия.

4) Способ послойной укладки и уплотнения арболитовой смеси. Изделия формуют на неподвижном поддоне. Формующий блок с тележкой уплотнения послойно укладывает смесь в уровень бортов. Затем опускается на величину уплотнения смеси и осуществляет «укатку» за 2-4 прохода. Данная технология довольно проста, но имеет ряд недостатков: можно армировать только плоскими сетками; верхняя сетка не фиксируется и «всплывает»; сложна установка

закладных деталей. При незначительном нарушении технологического процесса, возможно расслаивание готового изделия, низкая производительность.

На сегодняшний день, наибольшее распространение получил способ вибропрессования. Линии производства по данному способу довольно просты, занимают малое пространство и позволяют получать качественные арболитовые изделия с любой требуемой средней плотностью.

## **Вывод по главе 1**

На основании анализа состояния вопроса, возникает интерес в замене портландцемента на другое минеральное вяжущие, неподвергающееся воздействию «цементных ядов» и снижающего стоимость конечного продукта, обеспечивающего прочностные характеристики и плотность.

Исследования в этом направлении проводились и до сих пор актуальны, т.к. не все разработки бесцементного вяжущего для арболитовой смеси предлагают простые составы, легкие в производстве, либо полностью не отказываются от портландцемента. Исследования применения золы Красноярских ТЭЦ показывают положительные результаты и обеспечивают перспективу дальнейшего изучения композиций вяжущего на основе золы-унос.

В качестве замены традиционного вяжущего выбрана зола-унос Абаканской ТЭЦ. Данный материал обладает гидравлическими и вяжущими свойствами, является отходом ТЭЦ, его стоимость ниже стоимости портландцемента, что обеспечит снижение стоимости арболита.

Для производства арболитовых блоков выбран метод вибропрессования, т.к. остальные способы производства требуют больших капиталовложений, отличаются сложностью технологического оборудования.

Для достижения цели ВКР сформированы следующие задачи:

- изучить свойства сырьевых материалов;
- разработать состав бесцементного вяжущего на золе Абаканской ТЭЦ;

- подобрать состав арболита и изучить его свойства;
- выбрать технологическую схемы производства арболитовых изделий.

## **Глава 2. Экспериментальная часть**

### **2.1 Применяемые материалы**

В качестве вяжущего используем золу-унос Абаканской ТЭЦ. Зола-унос – тонкодисперсный продукт высокотемпературной обработки минеральной части углей. По ГОСТу, в зависимости от химического состава, подразделяется на кислые (оксид кальция до 10% по массе) и основные (оксид кальция более 10% по массе).

Золы ТЭЦ достаточно хорошо изучены и используются как активная минеральная добавка при производстве вяжущих веществ, приготовлении бетонов и строительных растворов, как минеральный порошок в асфальтобетоны и т.д. Однако, во всех перечисленных случаях зола используется как добавка в небольших объемах, что усложняет технологию, требует дополнительного технологического оборудования и увеличение производственных площадей

Зола-унос Абаканской ТЭЦ получается путем сжигания бурых углей Канско-Ачинского угольного бассейна и является высококальциевой, обладает гидравлическими и вяжущими свойствами. Однако внедрение высококальциевой золы в производство осложнено ее особенностями: постоянно изменяющимся составом, свойствами золы и наличием в ее составе повышенного количества  $\text{CaO}_{\text{своб}}$ . Свободный оксида кальция в виде частиц препятствует взаимодействию с водой в начальный период схватывания, и приводит к гидратации свободного  $\text{CaO}$  в позднем возрасте, сопровождающейся значительным расширением и увеличением объема новообразований, приводящем к собственным деформациям золосодержащих материалов. Химический состав золы представлен в таблице 11; физико – механические свойства – в таблице 12.

Таблица 11 – Химический состав золы-унос

Вид золы (место отбора)	Содержание окислов, %						П.П.П	CaO <sub>cb</sub>
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>		
Абаканская ТЭЦ	62,03	5,87	4,53	18,75	3,32	1,13	3,82	7,83

Таблица 12 – Физико-механические свойства золы

Остаток на сите № 0,008, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, мин	Предел прочности, МПа								
				при изгибе				при сжатии				
				Начало	Конец	3	7	14	28	3	7	
4,5	2,69	30	6	11	1,27	1,91	1,94	1,96	4,36	7,92	11,13	14,36

Обязательным условием использования топливных отходов в строительных материалах является соответствие их требованиям по содержанию естественных радионуклидов. Радиационно – гигиеническая оценка исследуемой золы – унос показала, что средние значения эффективной удельной активности не превышают нормированную величину 370 Бк/кг и зола – унос может использоваться для строительства жилых и общественных зданий, а также для других видов строительства без ограничений по радиационному фактору.

Вода для приготовления арболитовой смеси и растворов химических добавок должна соответствовать требованиям ГОСТа 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия». Содержание в воде органических поверхностно – активных веществ, сахаров или фенолов, каждого, не должно быть более 10 мг/л. Вода не должна содержать пленки нефтепродуктов, жиров, масел. В воде, применяемой для затворения растворных смесей, не должно быть окрашивающих примесей.

Содержание в воде растворимых солей, ионов SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-1</sup> и взвешенных частиц не должно превышать допустимых величин. Окисляемость воды не должна быть более 15 мг/л. Водородный показатель воды (pH) не должен быть

менее 4 и более 12,5. Вода не должна содержать также примесей в количествах, нарушающих сроки схватывания и твердения цементного теста и раствора.

Лучше использовать чистую питьевую воду, но допускается применение морской воды, если содержание солей не превышает 5000 мг/л.

В качестве органического заполнителя применяем измельченную древесину (дробленку). Для переработки используются отходы пилорам: горбыль и срезка. Не рекомендуется использовать древесные поддоны, бывшие в употреблении. Также не допускается применять горелый лес и древесину с очагами поражения плесенью.

Для предотвращения негативного воздействия свободного оксида CaO, в состав вяжущего добавляется микрокремнезем, состоящий из аморфного химически активного SiO<sub>2</sub>, обладающего пуццолановой активностью, т.е. способностью связывать CaO в Ca(OH)<sub>2</sub> в плотные и прочные гидросиликаты. Наличие микрокремнезема способствует увеличению вязкости системы и более быстрому возникновению центров кристаллизации. За счет этого происходит формирование зольной структуры с меньшими напряжениями и ускорение твердения зольных систем.

Микрокремнезем является попутным продуктом производства кремния, феррокремния и других кремниевых сплавов, получают его при высокотемпературной обработке кремнеземосодержащих исходных материалов, связанной с процессом возгонки оксидов кремния. Физико-механические показатели представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Физико-механические показатели микрокремнезема

Наименование показателей	Значение показателей микрокремнезема			Фактические данные
	МК-85	МК-65	МК-45	
Внешний вид	Порошок серого цвета			
Содержание воды, в % по массе	3	3	3	2,4
Потери при прокаливании, % не более	3	5	7	2,57
Содержание, % по массе:				
SiO <sub>2</sub> не менее	85	65	45	93,16
Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O не более	2	2	2	-
CaO не более	3	5	10	1,09

Окончание таблицы 13

Наименование показателей	Значение показателей микрокремнезема			Фактические данные
	МК-85	МК-65	МК-45	
SO <sub>3</sub> не более	0,6	0,6	0,6	0,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> не более	-	-	2,6	-
Водопотребность, не менее	40	40	40	50

Основные физические свойства МК: удельная поверхность 12-25 м<sup>2</sup>/г и выше; средний размер сферических частиц 0,1-0,3 мкм; истинная плотность 2,20-2,26 г/см; насыпная плотность 0,15-0,25 т/м<sup>3</sup>.

Для повышение прочностных характеристик зольно-кремнеземистой композиции в ее состав вводится комплексная химическая добавка, содержащая хлориды Са и Нa.

## 2.2 Методика исследования

### *Методика испытаний золы-унос*

Ориентируясь на требования ГОСТа 25818-2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» и общие требования, прилагаемые к минеральным вяжущим, были проведены испытания на определение дисперсности, плотности, нормальной густоты, сроков схватывания, равномерности изменения объема, вяжущего и определение активности золы и зольной композиции.

Дисперсность золы-унос определил путем просеивания предварительно высушенной золы, при температуре 105-110°C и охлажденной в экскаторе в течение 2 часов, в количестве 50 г. по остатку на сите №0,008 в процентах.

Истинную плотность золы определил в соответствие с ГОСТом 25818-2017 по ГОСТу 310.2-76 «Цементы. Методы определения тонкости помола» на приборе Ле Шателье и рассчитал по формуле (1)

$$\rho_3 = \frac{m_3}{V} , \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность, г/см<sup>3</sup>;

$m_3$  – масса навески, г.;

$V$  – объем вытесненной жидкости, см<sup>3</sup>.

Нормальную густоту и сроки схватывания портландцемента определил на приборе Вика. Для нормальной густоты применял пестик, для определения сроков схватывания иглу.

Равномерность изменения объема определил в соответствии с требованиями ГОСТа 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.» Испытание на равномерность изменения объема проводится кипячением предварительно приготовленных лепешек из теста нормальной густоты в течение трех часов.

Активность золы определил пределом прочности образцов-балочек, изготовленных из теста нормальной густоты. Испытание на изгиб проводят на прессе, где предел прочности вычисляем по формуле (2)

$$R_{uzg} = \frac{2 \cdot P \cdot l}{3 \cdot b \cdot h^2}, \quad (2)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$l$  – расстояние между опорами, мм;

$b$  – ширина образца, мм;

$h$  – высота образца, мм.

Предел прочности при сжатии определяют по формуле (3)

$$R_{cж} = \frac{P}{F_1}, \quad (3)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кгс;

$F_1$  – рабочая площадь пластинки, см<sup>2</sup>.

### ***Методика испытания древесного заполнителя.***

Испытания древесного заполнителя проводились в соответствие с требованиями ГОСТа 19222-2019.

Для определения насыпной плотности дробленки, отобрал пробу заполнителя объемом 10 литров и высушил до постоянной массы. В качестве мерного сосуда использовал стандартный цилиндр, объемом 5 литров, диаметром 185 мм и высотой 186,5 мм. Насыпную плотность вычислил как среднее арифметическое значение результатов трех параллельных испытаний по формуле (4)

$$\rho_h = \frac{q_2 - q_1}{V}, \quad (4)$$

где  $q_1$  – масса мерного сосуда, кг;

$q_2$  – масса мерного сосуда с заполнителем, кг;

$V$  – объем мерного сосуда, м<sup>3</sup>;

$\rho_h$  – насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Для определения содержания примесей коры, листьев и хвои, из высущенной пробы отобрал навеску массой 1000 г. и отделил примеси. Содержание примесей определил по формуле (5) в процентах и вычислил как среднее арифметическое значение двух параллельных испытаний

$$X = \frac{q}{G} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $q$  – масса примесей, г;

$G$  – масса навески с примесями, г.

Гранулометрический состав дробленки определил рассевом пробы, после отбора примесей, на ситах с круглыми отверстиями размером 2,5;5;10 и 20 мм. За результат принял среднее арифметическое значение результатов трех параллельных испытаний, частные остатки на сите посчитал по формуле (6),

полные остатки вычислил как сумму частных остатков по массе на всех ситах с большим отверстием и на данном сите

$$X_i = \frac{q_i}{G_i} \cdot 100, \quad (6)$$

где  $q_i$  – масса остатка на сите, г;

$G_i$  – масса исходной навески (без примесей коры, листьев, хвои), г;

$X_i$  – частный остаток на сите, %.

Содержание водорастворимых редуцирующих веществ в древесине определил по ГОСТУ 19222-2019. Метод определения водорастворимых редуцирующих веществ основан на восстановлении сахарами основной соли двухвалентной меди до ее закиси. Содержание сахара определяют по количеству перманганата калия, пошедшего на титрование двухвалентного железа, образовавшегося в результате реакции трехвалентного железа с закисью меди

Максимальный размер частиц дробленки определил путем отбора 20 частиц, оставшихся на сите 20. Размер каждой частицы измерил металлической линейкой с точностью до 1 мм. Максимальным размером является среднее арифметическое значение результатов измерения.

Коэффициент формы частиц определил по ГОСТу 9758-2012 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний». Коэффициент формы каждого зерна вычислил по формуле (7), среднее значение по формуле (8)

$$K_{\phi i} = \frac{D_{\max}}{D_{\min}}, \quad (7)$$

где  $D_{\max}$  – наибольший размер зерна, мм;

$D_{\min}$  – наименьший размер зерна, мм;

$K_{\phi i}$  – коэффициент формы  $i$ -го зерна;

$$K_{\phi .k} = \frac{\sum K_{\phi i}}{n}, \quad (8)$$

где  $K_{\phi i}$  – коэффициент формы  $i$ -го зерна;

$n$  – число измеренных зерен.

### ***Методика расчета составов арболита***

Расчет состава арболитовых смесей производили согласно инструкции по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита СН 549-82.

### ***Методика исследования свойств арболита***

Исследовали свойства арболитовых смесей и арболита, согласно ГОСТ 19222-2019 «Арболит и изделия из него». Среднюю плотность арболитовых блоков определил по ГОСТу 12730.178 «Бетоны. Методы определения плотности». Прочность арболита на сжатие, определяют по ГОСТу 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

## **2.3 Исследование свойств сырьевых материалов**

### ***Исследование свойств золы-унос***

Комплексным критерием оценки активности золы являются физико - механические показатели золы - унос.

Для золы-унос были определены: содержание  $\text{CaO}_{\text{своб}}$ , %; остаток на сите №0,008, %; плотность,  $\text{г}/\text{см}^3$ ; нормальная густота, %; сроки схватывания, мин; активность, МПа и равномерность изменения объема.

Физико - механические свойства золы-унос были изучены по методике, применяемой для определения удельной поверхности, сроков схватывания и активности. Свободный оксид кальция образуется в результате термического разложения первичных кальцийсодержащих минералов и соединений и перехода в малоактивную высокотемпературную форму. Процесс гидратации такой окиси кальция протекает медленно, часто в те сроки, когда уже сформировалась стабильная кристаллизационная структура. Поэтому в зольном камне или материале с добавкой золы-унос могут возникнуть внутренние напряжения,

вызывающие неравномерность изменения объема твердеющей системы, деформации и даже разрушение.

В связи с этим, были проведены испытания на равномерность изменения объема зольного камня при кипячении:

Результаты испытаний на равномерность изменения объема методом кипячения позволяют сделать вывод о том, что использование золы Абаканской ТЭЦ, как самостоятельного вяжущего невозможно, т.к. исследуемый образец не выдержал испытание.

В соответствии с требованием ГОСТ 310.1-76 брали навеску золы в количестве 400 гр., опытным путем подбирали расход воды, после чего с помощью прибора Вика (металлического пестика) определяли нормальную густоту зольного теста. Чем меньше нормальная густота золы, тем меньше водопотребность смеси, необходимая для достижения определенной подвижности смеси. Сокращение расхода воды, в свою очередь, приводит к уменьшению расхода золы. После этого, для определения сроков начала и конца схватывания готовилось зольное тесто нормальной густоты и также с помощью прибора Вика, заменив пестик на металлическую иглу, по глубине проникания иглы в зольное тесто определили сроки начала, а затем и конца схватывания. Прочность зольного камня определялась испытанием на изгиб и сжатие стандартных образцов балочек размером 4\*4\*16 см изготовленные из зольного теста нормальной густоты. Физико - механические свойства золы представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Свойства золы-унос Абаканской ТЭЦ

Содержание CaO <sub>своб.</sub> , %	Остаток на сите № 008, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, мин	
				Начало	Конец
10,3	4,5	2,69	30	6	11

## *Исследование свойств древесного заполнителя*

Для древесного заполнителя были определены: насыпная плотность, содержание примесей, фракционный состав, модуль крупности, максимальный размер частиц и содержание водорастворимых веществ. Результаты приведены в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Свойства органического заполнителя

Наименование показателя	Значение показателя	Значение по ГОСТ
Плотность насыпная, г/см <sup>3</sup>	0,14	-
Содержание примесей, %	- 2%	коры не более 10% хвои и листьев не более 5%
Содержание водорастворимых веществ, %	0,1725	не более 2%

Таблица 16 – Гранулометрический состав, максимальный размер частиц, модуль крупности

Размер контрольных сит, мм	Полные остатки дробленки на контрольных ситах, % по объему	Полные остатки дробленки на контрольных ситах, % по объему по ГОСТУ
20	1,14	До 5
10	27,48	25 – 50
5	59,71	40 – 75
2,5	70,38	70 – 100
Максимальный размер частиц, мм	27	

Вывод: по результатам исследования определил, что дробленка соответствует требованиям ГОСТа 19222-2019 по всем показателям и является пригодной для изготовления арболитовых изделий.

## *Разработка состава вяжущего*

По результатам испытаний было установлено, что зола-унос Абаканской ТЭЦ относится к высококальциевой золе и применение ее как самостоятельного вяжущего невозможно.

Предотвращение негативного воздействия свободного оксида CaO возможно различными методами, как физическими, так и химическими. Одним из перспективных методов химической нейтрализации CaO<sub>своб</sub>, является введение в состав зольных композиций активного микрокремнезема - попутного продукта производства кристаллического кремния, способного вступать в химическую реакцию с оксидом кальция на ранней стадии.

С целью нейтрализации CaO<sub>своб</sub> были проведены испытания по влиянию микрокремнезема на свойства золы-унос Абаканской ТЭЦ. Количество добавки назначалось в соответствии с рекомендациями исследователей в количестве 4-10%. Результаты испытаний представлены в таблице 17 и таблице 18.

Таблица 17 – Влияние микрокремнезема на свойства зольного вяжущего

Состав	Содержание, в %		Нормальная густота, %	Сроки схватывания, мин	
	Зола-унос	Mк		Начало	Конец
1	100	-	30	6	11
2	98	2	27,5	13	20
3	96	4	28,75	19	30
4	94	6	31,25	21	33

Добавка микрокремнезема в состав зольной композиции приводит к увеличению начала и конца схватывания, что позволяет регулировать сроки схватывания.

Таблица 18 – Влияние микрокремнезема на прочность зольного камня

Состав	Расход мат-в, %		$R_{изг}$ , МПа				$R_{сж}$ , МПа			
	Зола	Мк	3	7	14	28	3	7	14	28
1	100	-	1,27	1,91	1,94	1,96	4,36	7,92	11,13	14,36
2	98	2	1,29	1,92	1,98	2,34	10,02	11,35	15,63	17,63
3	96	4	1,25	1,95	2,01	2,11	11,76	13,14	19,16	21,45
4	94	6	1,20	1,9	2,00	2,08	6,16	9,64	13,24	15,53

Из таблицы видно, что добавка микрокремнезема в количестве от 2-6 % от массы золы увеличивает прочность зольного камня, способствует своевременной гидратации зольно - кремнеземистой композиции.

Для повышение прочностных характеристик зольно-кремнеземистой композиции в ее состав вводится комплексная химическая добавка, содержащая хлориды Са и Нa. Влияние микрокремнезема и химической добавки на свойства зольного теста и камня представлено в табл. 19 и 20.

Таблица 19 - Нормальная густота и сроки схватывания вяжущего

Состав	Расход мат-в, %			Нормальная густота, %	Сроки схватывания, мин	
	Зола	Мк	Добавка		Начало	Конец
1	100	-	-	30	6	11
2	98	2	-	27,5	13	20
3	96	4	-	28,75	19	30
4	94	6	-	31,25	21	33
5	96	4	2	26,25	46	57

Таблица 20 – Прочностные свойства зольного камня

Состав	Расход мат-в, %			$R_{изг}$ , МПа				$R_{сж}$ , МПа			
	3	Мк	Добавка	3	7	14	28	3	7	14	28
1	100		-	1,27	1,91	1,94	1,96	4,36	7,92	11,13	14,36
2	98	2	-	1,29	1,92	1,98	2,34	10,02	11,35	15,63	17,63
3	96	4	-	1,25	1,95	2,01	2,11	11,76	13,14	19,16	21,45

## Окончание таблицы 20

Состав	Расход мат-в, %			$R_{изг}$ , МПа				$R_{сж}$ , МПа			
4	94	6	-	1,20	1,9	2,00	2,08	6,16	9,64	13,24	15,53
5	96	4	2	1,98	2,24	2,89	3,67	20	25,37	29,34	35,4

Результаты исследований показали, что наилучшими результатами обладает композиция, состоящая из 96% золы-унос, 4% микрокремнезема и 2% добавки хлоридов Са и Н. Данная композиция обладает прочностью более 30 МПа на 28 сутки и может быть рекомендована в качестве самостоятельного вяжущего при производстве арболита.

## 2.5 Разработка состава арболита

В результате проведения работы был получен арболит на бесцементном вяжущем, состоящим из композиции золы, микрокремнезема и жидкой добавки хлоридов Са и На. Для арболита были определены средняя плотность и прочность. Результаты приведены в таблице 21.

Таблица 21 - Составы арболита и их свойства

Номер состава	Плотность влажного арболита, кг/м <sup>3</sup>	Плотность сухого арболита, кг/м <sup>3</sup>	Прочность арболита на 28 сут, МПа	Требования ГОСТ	
				По плотности	По прочности
1	1018	682	2,5	500-700	2,5
2	1140	742	4,61	600-750	3,5
3	1184,5	819	6,38	700-850	5,0

## Вывод по главе 2

В ходе экспериментальных исследований были испытаны сырьевые материалы для производства арболита на бесцементном вяжущем.

Количество добавки микрокремнезема в размере 4% по массе золы регулирует сроки схватывания, увеличивает нормальную густоту зольного теста

и прочность зольного камня, нейтрализует негативное влияние  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  за счет вступления с ним в химическую реакцию в процессе затворения водой, образовывая при этом дополнительные соединения.

Оптимальным составом для получения зольно - кремнеземистой композиции является: 96 % высококальциевой золы - унос Абаканской ТЭЦ, 4 % микрокремнезема и 2 % добавки хлористых солей от массы вяжущего. Это количество обеспечивает прочность зольно - кремнеземистого камня 35,4 МПа на 28 сутки твердения и 25,37 МПа на 7 сутки нормального твердения.

На разработанном бесцементном вяжущем разработаны составы арболита, по свойствам удовлетворяющие требованиям ГОСТ.

### **Глава 3 Технологическая часть**

Технология производства арболита в основном включает те же операции, что и технология производства обычного бетона на пористых заполнителях. В основном, технологический процесс изготовления арболитовых изделий состоит из следующих переделов:

1. Дробление и подготовка заполнителя по гранулометрическому составу;
2. Дозировка компонентов арболитовой смеси;
3. Приготовление арболитовой смеси;
4. Формование арболитовой смеси и уплотнение;
5. Термообработка отформованных изделий;
6. Выдерживание при положительных температурах;

При производстве арболита, важнейшим технологическим фактором является способ формования и уплотнения. От него зависят экономические и физико-механические показатели производства, такие как средняя плотность, тепло- и звукопроводность, влагостойкость. В отличие от производства искусственных минеральных пористых заполнителей со значительными затратами энергии, получение заполнителя для арболита сводится к измельчению древесины до получения оптимального фракционного состава. Лучшие результаты дает специально приготовленная по типовой схеме дробленка из кусковых отходов древесины.

На сегодняшний день, наибольшее распространение получил способ вибропрессования. Линии производства по данному способу довольно просты, занимают малое пространство и позволяют получать качественные арболитовые изделия с любой требуемой средней плотностью.

### 3.1 Технологическая схема производства

Технологический процесс изготовления арболитовых блоков состоит из следующих переделов: дробление и подготовка заполнителя по гранулометрическому составу, приготовление суспензии из микрокремнезема и воды, дозировка компонентов арболита, приготовление арболитовой смеси, укладка ее в формы и уплотнение, термообработка отформованных изделий, вызревание при положительных температурах, транспортировка изделий на склад.

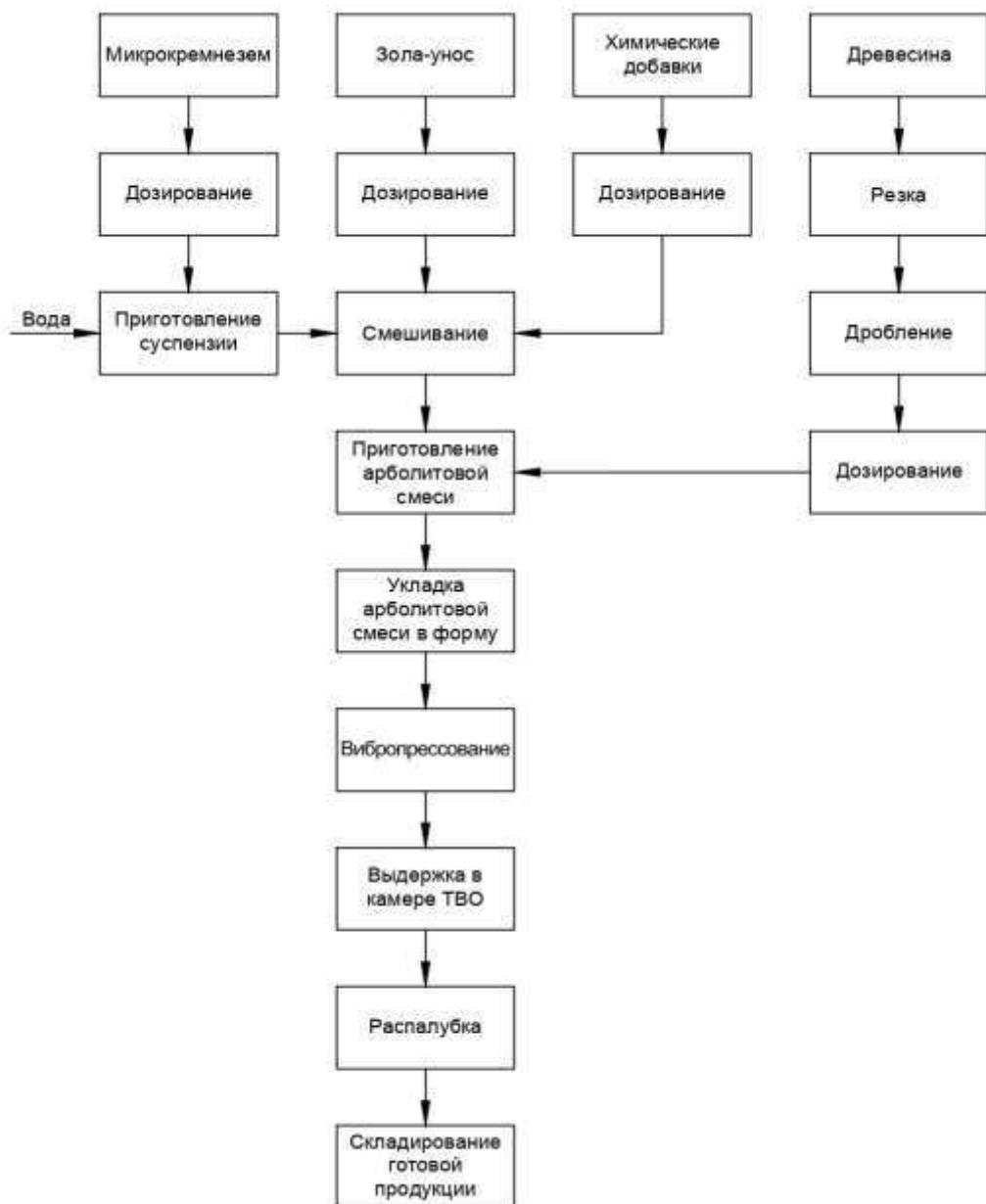


Рисунок 1 – Функциональная схема

Способ вибропрессования разработан для формования стеновых блоков из арболита, но на технологической линии, работающей по такому способу, можно также формовать мелкоштучные блоки и перегородочные плиты.

Формовочная линия состоит из формовочного станка (вибропресса), металлических форм (с делительным вкладышем), укладчиков арболитовой смеси.

Сырьевые материалы на заводских складах хранятся в условиях, исключающих попадание в них посторонних примесей, а также предотвращающих смешение различных материалов.

Зола-унос хранится в закрытых силосах, исключающих возможность попадания влаги в материал.

Основой качественного арболита является древесина. Для переработки используются отходы пилорам: горбыль и срезка. Не рекомендуется использовать древесные поддоны, бывшие в употреблении. Также не допускается применять горелый лес и древесину с очагами поражения плесенью.

Древесина – анизотропный материал, поэтому древесная дробленка должна иметь игольчатую форму с коэффициентом формы равным 5 – 10. Для этого используется специальный щепорез, крупный горбыль следует предварительно разрезать на циркулярном или многопильном станке. Мелкая стружка и опилки увеличивают расход вяжущего, поэтому их следует отделять. Для этого в щепорезе предусмотрен лопастной вентилятор, который отделяет в воздушном потоке мелкую стружку и опилки.

Подготовленные сырьевые материалы после контроля на содержание в них основного вещества хранят в бункерах готовых материалов. Для правильного подбора состава смеси материалы отвешивают в соответствии с рецептурой и используют автоматические весы, устанавливаемые под каждым бункером готового материала.

Для приготовления смеси используется специальный лопастной смеситель, особенностью которого является плогообразная конструкция лопастей активатора. В обычных бетономешалках для легких и тяжелых бетонов древесная щепа не перемешивается в должной степени, а перемещается внутри объема смесителя. Обычные лопасти ее проталкивают и не в состоянии разрезать и перевернуть для смещивания.

Арболитовую смесь получают следующим образом. Брикетированный микрокремнезем после дозирования поступает в смеситель турбулентного типа, где перемешивается совместно с водой в соотношении 1:1 в течение 7-10 минут до полного разбивания брикетов и получения суспензии. Затем добавляют золу-унос и жидкую добавку хлоридов Са и На путем дождевания с помощью дозатора и системы перфорированных трубок-распылителей и повторно смешивают. В этом случае можно точно дозировать добавки и равномерно распределить их, что позволяет улучшить физико-механические свойства арболита. В конце добавляется древесная щепа и перемешивается со смесью.

Подача золы в смесительный узел производится пневмотранспортом из силоса хранения аналогично подаче цемента, который также подается при необходимости. Зола из силоса пневмотранспортом подается в расходный бункер золы, отработанный воздух проходит через фильтр и выбрасывается в атмосферу. Зола, которая накапливается в фильтре, возвращается обратно в расходный бункер. Из расходного бункера зола через весовой дозатор поступает в смеситель, оборудованный системой отсосом воздуха, который очищается в фильтре и выбрасывается в атмосферу.

Микрокремнезем доставляется в виде брикетов в мешках. Разгрузка производится вручную в специальную емкость, откуда с помощью пневмостранспорта в расходную емкость с дозатором

Пресс формы для изготовления арболитовых блоков и панелей производятся при использовании станка точной лазерной резки. Каждая форма комплектуется прижимной пластиной, которая зажимается во время прессования

и удерживается замками. Таким образом, изделие из арболита запечатывается с шести сторон и обладает точной геометрией. Блоки не вспучиваются в процессе высыхания, не образуется «горб» в его верхней части.

Для доставки арболитовой смеси к формам, установленным на столе вибропресса, применяется подъемо-поворотный бункер. Устройство позволяет значительно снизить физические нагрузки работников при наполнении форм арболитовой смесью перед формовкой блока. У бункера два положения: в нижнем смесь выгружают из смесителя, в верхнем перекладывают ее в стальные формы для формовки арболита.

Готовая арболитовая смесь подается в форму до уровня 20-30%, затем включается вибрация на вибростоле на 3-5 секунд. Смесь досыпается в форму полностью до уровня, укладывается прижимная пластина. Включается вибрация и опускается пуансон до того момента, когда прижимная пластина защелкнется в форме на всех 4-х замках. Затем поднимается пуансон, рабочие при помощи механизма захвата форм снимают их с вибростола и переносят в сушильное помещение.

При вибропрессовании частицы древесного заполнителя, перемещаясь относительно друг друга, занимают в структуре арболита положение, обеспечивающее наибольшую плотность контактных зон, при этом уменьшается величина распрессовки. При обычном же способе прессования арболитовой смеси для получения изделий идентичной плотности частицы древесного заполнителя в отдельных контактах сжимаются, вызывая упругие деформации, что ведёт к распрессовке сформованного изделия и, в конечном итоге, к снижению прочности.

После прессования тележка формы вывозят в теплое помещение сушильной камеры. Твердение стеновых арболитовых блоков - важнейшая технологическая операция, поэтому выбор и назначение оптимальных способов ее ускорения имеет большое практическое значение. Нормальными условиями для твердения арболита считаются; температура 20 +/- 2°C и относительная

влажность воздуха 70 +/- 10%. При твердении в этих условиях стеновые блоки из арболита, изготовленные на портландцементе марки 400 и выше, приобретают прочность при сжатии 50% проектной. через 3-5 суток, при использовании БТЦ (быстротвердеющий портландцемент) - через 1-2 суток. Твердение арболитобетона при температуре ниже 16°C замедляется, а при температуре 5°C и ниже прекращается.

При повышенной температуре и достаточной относительной влажности воздуха твердение идет значительно, быстрее, чем при нормальных условиях. Наиболее эффективной тепловой обработкой арболита во всех случаях является прогрев стеновых камней при температуре 40°C и относительной влажности воздуха 50-60%, Прогрев с большей температурой приведет к снижению конечной прочности арболита. Длительность отдельных периодов тепловой обработки должна назначаться исходя из следующих требований: продолжительность выдерживания отформованных камней из арболита на поддоне до начала тепловой обработки должна быть не менее 12 часов; скорость подъема температурной среды в камере и скорость остывания камней из арболита после изотермического прогрева не должна быть более 10 град./час.; изотермический прогрев сформованных камней из арболита должен осуществляться при температуре теплоносителя не более 40°C, относительной влажности теплоносителя 50-60%, общий цикл тепловой обработки при этих условиях не должен превышать 24 часа.

Рекомендуется тепловую обработку арболитовых блоков проводить электрообогревом, при этом камеры оборудовать низкотемпературными нагревателями. При электрообогреве используют нагреватели инфракрасного излучения или допускается прогрев изделий проводить теплом сжигаемого в газовых, горелках газа, при этом в камерах организуется дополнительная вентиляция. В зимних условиях стеновые арболитовые блоки после распалубки хранят в закрытом помещении при температуре не ниже 15°C до приобретения проектной прочности.

Для нормальной организации производства стеновых блоков из арболита в зимнее время следует выполнить следующие мероприятия: заранее заготовить древесные и другие отходы в объеме, необходимом для работы в зимний период, с предварительной выдержкой этих отходов в летнее время; подогревать применяемые материалы, чтобы они имели положительную температуру; для ускорения твердения проводить тепловую обработку.

Перечень необходимого оборудования представлен в таблице 22.

Таблица 22 – Перечень оборудования

Наименование оборудования	Назначение
1. Вибропресс для арболита	Формовка арболитовых блоков
2. Бетоносмеситель для арболита	Приготовление арболитовой смеси
3. Щепорез для арболита	Производство щепы для арболита
4. Турбулентный смеситель	Приготовление суспензии микрокремнезема
5. Пневмотранспорт	Подача золы-унос
6. Ленточный питатель	Подача микрокремнезема
7. Механизм захвата форм	Перемещение форм
8. Подъемно-поворотный бункер	Подача арболитовой смеси в вибропресс
9. Весовой дозатор	Дозирование и подача золы-унос, щепы
10. Объемный дозатор	Дозирование и подача жидких добавок и воды
11. Сkipовый подъемник	Перемещение щепы в бункер хранения
12. Циркулярный станок	Резка крупной древесины

### Вывод по главе 3

Была подобрана технологическая линия для производства арболитовых блоков на зольно-кремнеземистой композиции. Данная линия оснащена традиционным технологическим оборудованием, проста в эксплуатации и наладке.

Линия производства арболитовых блоков на золе-унос отличается отсутствием операции по минерализации древесного заполнителя. Дополнительно требуется организовать пост по приготовлению суспензии для микрокремнезема, для чего устанавливают дополнительный бункер, дозатор,

турбулентный смеситель и вакуумный агрегат (пневмотранспорт). Для работы с золой-унос подходит оборудование, применяемое для цемента.

Приготовление, уплотнение и выдерживание арболитовой смеси происходит на оборудование, пригодном для производства арболитовых изделий, как и на цементном вяжущем, так и на композиции вяжущего золы-унос и микрокремнезема.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Оптимальным составом для получения зольно - кремнеземистой композиции является: 96 % высококальциевой золы - унос Абаканской ТЭЦ, 4 % микрокремнезема и 2 % добавки хлористых солей от массы вяжущего. Это количество обеспечивает прочность зольно -кремнеземистого камня 35,4 МПа на 28 сутки твердения и 25,37 МПа на 7 сутки нормального твердения.

На разработанном бесцементном вяжущем разработаны составы арболита, по свойствам удовлетворяющие требованиям ГОСТ.

Была подобрана технологическая линия для производства арболитовых блоков на зольно-кремнеземистой композиции. Данная линия оснащена традиционным технологическим оборудованием, проста в эксплуатации и наладке.

Линия производства арболитовых блоков на золе-унос отличается отсутствием операции по минерализации древесного заполнителя. Дополнительно требуется организовать пост по приготовлению суспензии для микрокремнезема, для чего устанавливают дополнительный бункер, дозатор, турбулентный смеситель и вакуумный агрегат (пневмотранспорт). Для работы с золой-унос подходит оборудование, применяемое для цемента.

Приготовление, уплотнение и выдерживание арболитовой смеси происходит на оборудование, пригодном для производства арболитовых изделий, как и на цементном вяжущем, так и на композиции вяжущего золы-унос и микрокремнезема.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абраменко, Н.И. Поризованный цементный арболит на древесных заполнителях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Н.И. Абраменко. М.: НИИЖБ, 1980. - 18 с.
2. Аксенов А.В. Композиционное бесцементное вяжущее из механохимически активированных промышленных отходов и мелкозернистый бетон на его основе.: диссертация канд.тех.наук.: 05.23.0: защищена 17.05.2005 / Аксенов Алексей Витальевич. – Новосибирск, 2005. – 120 с.
3. Арболит – проблемы и перспективы: науч.-темат. сб. / об-ние «Росколхозстрой»; проект.-технол. произв. об-ние «Сельхозстройматериалы»; ред.: М.И. Клименко [и др.] Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1982. – 79 с.
4. Волженский А.В. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов / А.В. Волженский; под ред. Н.М. Николаева – Москва: Стройиздат, 1969. – 380 с.
5. Герасимова Н.П. Зола уноса как сырье для производства бетонных блоков при решении экологической проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ / Н.П. Герасимова // Вестник ИрГТУ. – 2016 - №6 (113). – 6 с.
6. ГОСТ 19222-2019 Арболит и изделия из него. Общие технические условия
7. ГОСТ 25818-2017 Золы уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия
8. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности
9. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия
10. ГОСТ 31108–2016 Цементы общестроительные. Технические условия

11. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия
12. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия
13. ГОСТ 310.2-76 Цементы. Методы определения тонкости помола
14. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема
15. ГОСТ 9758-2012 Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний
16. ГОСТ 12730.178 Бетоны. Методы определения плотности
17. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам
18. Исакулов Б.Р. Получение высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих.: диссертация доктора техн.наук: защищена 22.01.2016 / Исакулов Баизак Разакович. – Иванова, 2015. – 368 с.
19. Матыева А.К. Модифицированный арболит из местного сырья Кыргызской Республики по энергосберегающей технологии для ограждающих конструкций зданий / А.К. Матыева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 4 – С. 33-37
20. Машкин Н.А. Строительные материалы. Краткий курс: учеб. пособие / Н.А. Машкин, О.А. Игнатова; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстр). – 2-е изд., перераб. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2012. – 200с.
21. Наназашвили И. Х. Арболит – эффективный строительный материал. М.: Стройиздат, 1984. – 121 с.
22. Пат. 2593836, МПК C04B 18/26. Сыревая смесь для изготовления арболита / Шевченко В.А., Лебедева Т.Г., Плахтий И.А., Трифонов Р.В.; патентообладатель Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» - заявл. 26.06.2015 опубл. 10.08.2016. – 7 с.

23. Справочник по производству и применению арболита / Крутов П.И., Наназашвили И.Х., Склизков Н.И., Савин В.И.; Под ред. И.Х.Наназашвили. – М.: Стройиздат, 1987. – 208 с.
24. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие / В.С. Руднов [и др.]; под общ.ред.доц., канд. техн. наук И.К. Доманской. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 203 с.
25. Шевченко В.А. Бесцементное вяжущее из зольно-кремнезистых композиций / В.А. Шевченко, Н.А. Артемьева, Л.А. Иванова [и др.] // журнал «Современные проблемы науки и образования». – 2015 - №1 (часть 1). – 8 с.

# Свойства сырьевых материалов

# Химический состав золы-унос

Вид золы (место отбора)	Содержание окислов, %						П.П.П.	CaOсв
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>		
Абаканская ТЭЦ	62,03	5,87	4,53	18,75	3,32	1,13	3,82	7,83

# Физико-механические показатели микрокремнезема

Наименование показателей	Значение показателей микрокремнезема			Фактические данные
	МК-85	МК-65	МК-45	
Внешний вид	Порошок серого цвета			
Содержание воды, в % по массе	3	3	3	2,4
Потери при прокаливании, % не более	3	5	7	2,57
Содержание, % по массе:				
SiO <sub>2</sub> не менее	85	65	45	93,16
Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O не более	2	2	2	-
CaO не более	3	5	10	1,09
SO <sub>3</sub> не более	0,60	0,60	0,60	0,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> не более	-	-	2,60	-
Водопотребность не менее	40	40	40	50

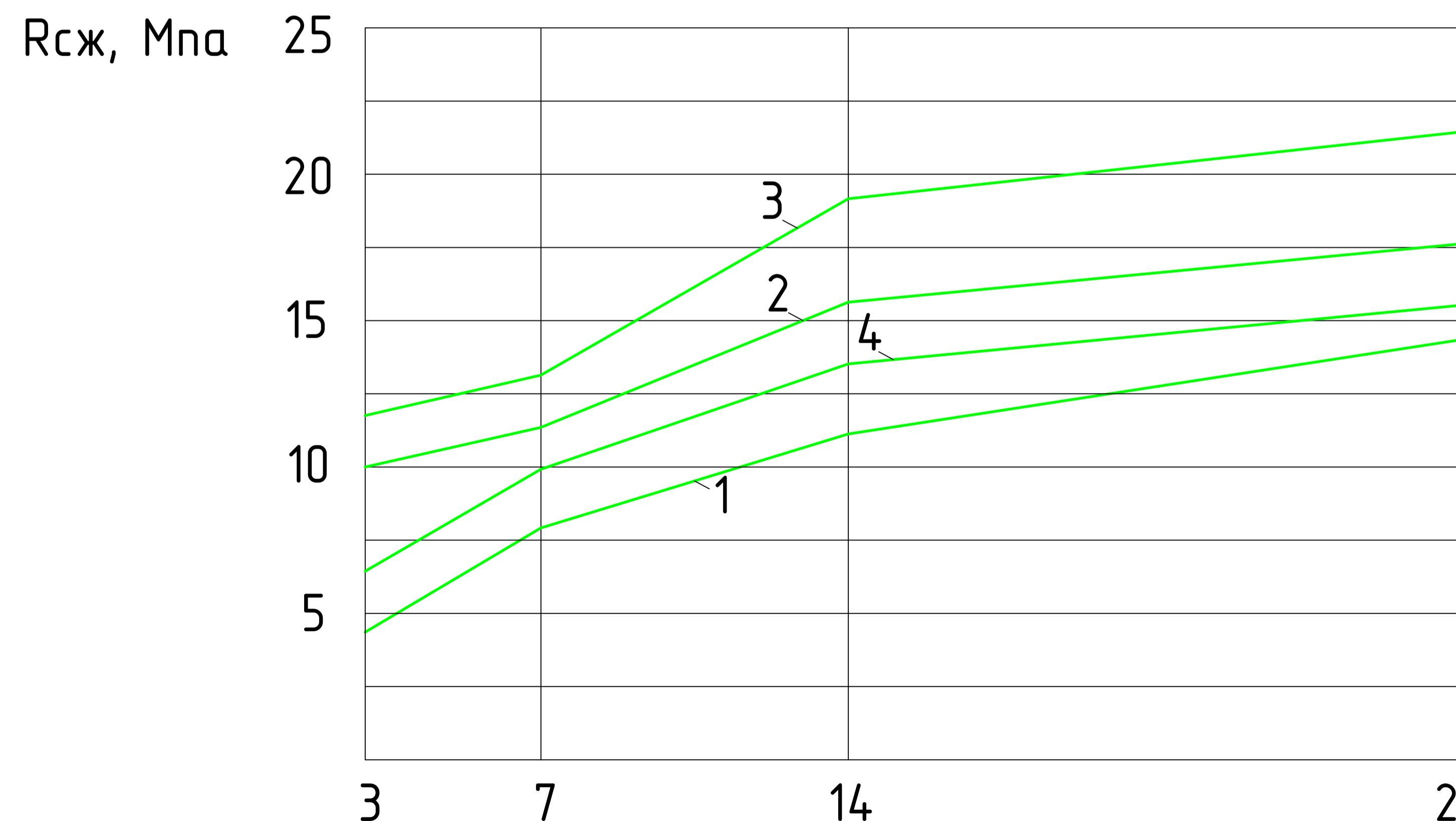
# Физико-механические свойства золы

Остапок на сите №0,008	Плотност ь, г/см <sup>3</sup>	Нормальн ая густота, %	Остапок на сите №0,008	Предел прочности, МПа								
				при изгибе				при сжатии				
Начало	Конец	3	7	14	28	3	7	14	28			
4,5	2,69	30	6	11	1,27	1,91	1,94	1,96	4,36	7,92	11,13	14,36

# Свойства зольно-кремнеземистой композиции

Влияние микрокремнезема на прочность зольного камня

Состав	Расход мат-во, %		R <sub>изг</sub> , МПа				R <sub>сж</sub> , МПа			
	Зола	Мк	3 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки	3 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	100	-	1,27	1,91	1,94	1,96	4,36	7,92	11,13	14,36
2	98	2	1,29	1,92	1,98	2,34	10,02	11,35	15,63	17,63
3	96	4	1,25	1,50	2,01	2,11	11,76	13,14	19,16	21,45
4	94	6	1,20	1,90	2,00	2,08	6,16	9,64	13,24	15,53



Влияние микрокремнезема на свойства зольного вяжущего

Состав	Содержание, %		Нормальная густота, %	Сроки схватывания, мин	
	Зола-унос	Мк		Начало	Конец
1	100	-	30	6	11
2	98	2	27,5	13	20
3	96	4	28,75	19	30
4	94	6	31,25	21	33

- 1 - Зола 100%
- 2 - Зола 98% + Микрокрем. 2%
- 3 - Зола 96% + Микрокрем. 4%
- 4 - Зола 94% + Микрокрем. 6%

КП-08.03.01 ТХ			
Сибирский федеральный университет			Инженерно-строительный институт
Изм.	Кол.	№ докум.	Подп.
Разраб.	Пасеев В.Е.		Дата
Руковод.	Шебченко В.А.		
Зав.хор.	Бондаревская И.Г.		
Н. контр.	Шебченко В.А.		
Разработка составов адгломерата на золе Абаканской ТЭЦ			Станд.
			Лист
			Листов
			Ч 2 5
Свойства зольно-кремнеземистой композиции			СМиТС

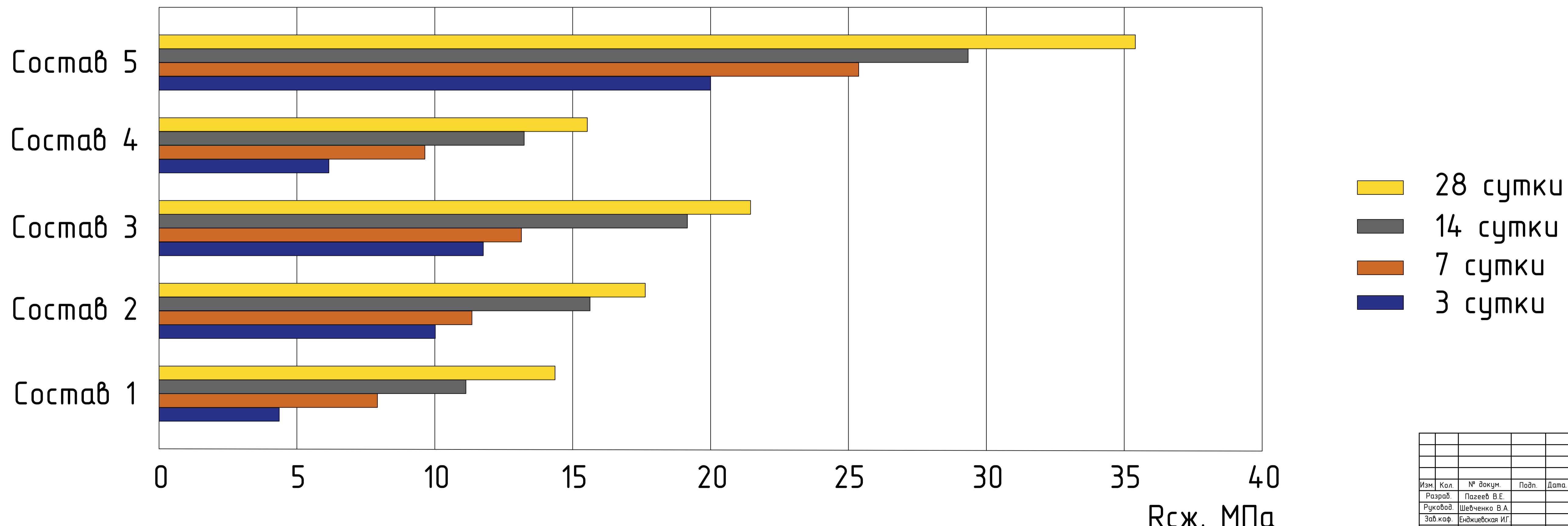
# Свойства бесцементного вяжущего

## Прочностные свойства зольного камня

Состав	Расход мат-в, %			Предел прочности на изгиб, Мпа				Предел прочности на сжатие, Мпа			
	Зола	Мк	Доб.	3 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки	3 сутки	7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	100	-	-	1,27	1,91	1,94	1,96	4,36	7,92	11,13	14,36
2	98	2	-	1,29	1,92	1,98	2,34	10,02	11,35	15,63	17,63
3	96	4	-	1,25	1,95	2,01	2,11	11,76	13,14	19,16	21,45
4	94	6	-	1,20	1,90	2,00	2,08	6,16	9,64	13,24	15,53
5	96	4	2	1,98	2,24	2,89	3,67	20,00	25,37	29,34	35,4

## Нормальная густота и сроки схватывания вяжущего

Состав	Нормальная густота, %	Сроки схватывания	
		Начало	Конец
1	30	6	11
2	27,5	13	20
3	28,75	19	30
4	31,25	21	33
5	26,25	46	57



КП-08.03.01 ТХ			
Сибирский федеральный университет			Инженерно-строительный институт
Изм	Кол.	№ докум.	Подп.
Разраб.	Пасеев В.Е.		Дата
Руковод.	Шебченко В.А.		
Зав.каф.	Бондаревская ИГ		
Н. контр.	Шебченко В.А.		
Разработано составом арболита на золе Абаканской ТЭЦ			Страницы
			Листы
			Ч 3 5
Свойства бесцементного вяжущего			СМиТС

# Свойства древесного заполнителя и арболита

# Свойства органического заполнителя

Наименование показателя	Значение показателя	Значение по ГОСТ
Плотность насыпная, г/см <sup>3</sup>	0,14	-
Содержание примесей, %	-	коре не более 10%
	2%	хвоя и листьев не более 5%
Содержание водорастворимых веществ, %	0,1725	не более 2%

# Гранулометрический состав, максимальный размер частиц, модуль крупности

Размер контрольных сит, мм	Полные остатки на контрольных ситах, % по массе	Полные остатки на контрольных ситах, % по ГОСТУ
20	1,14	До 5
10	27,48	25 - 50
5	59,71	40 - 75
2,5	9,67	70 - 100

# Составы арболита и их свойства

Номер состава	Плотность влажного арболита, кг/м <sup>3</sup>	Плотность сухого арболита, кг/м <sup>3</sup>	Прочность арболита на 28 сут, МПа	Требования ГОСТ	
				По плотности	По прочности
1	1018	682	2,5	500-700	2,5
2	1140	742	4,61	600-750	3,5
3	1184,5	819	6,38	700-850	5,0

КП-08 03 01 ТХ

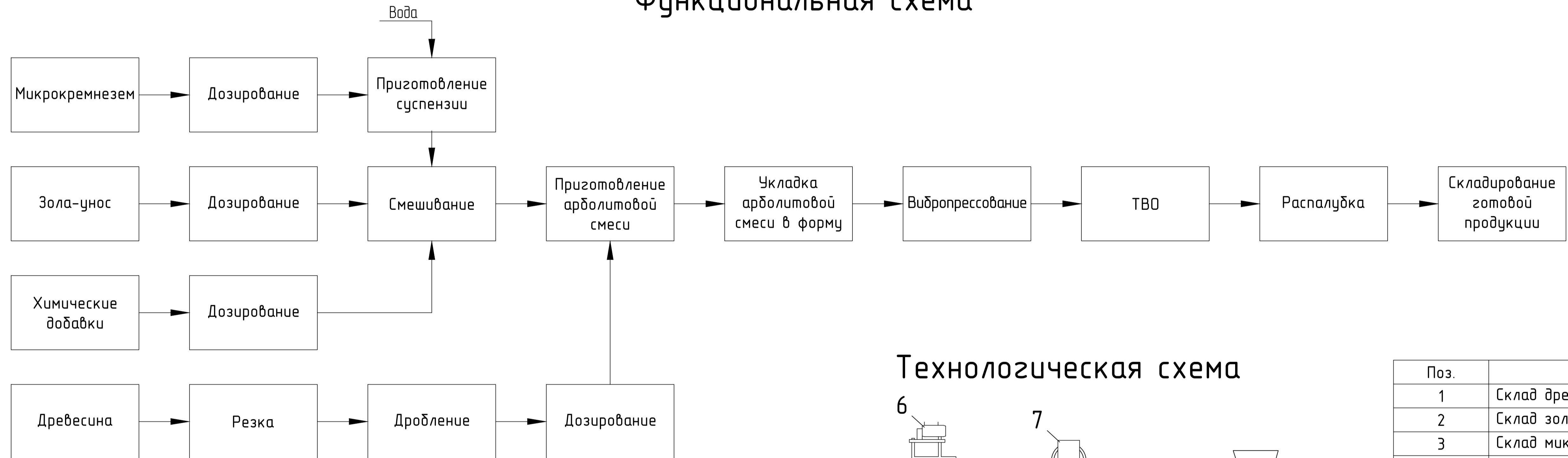
Сибирский федеральный университет

Разработка составов арболита	Стадия	Лист	Лис
------------------------------	--------	------	-----

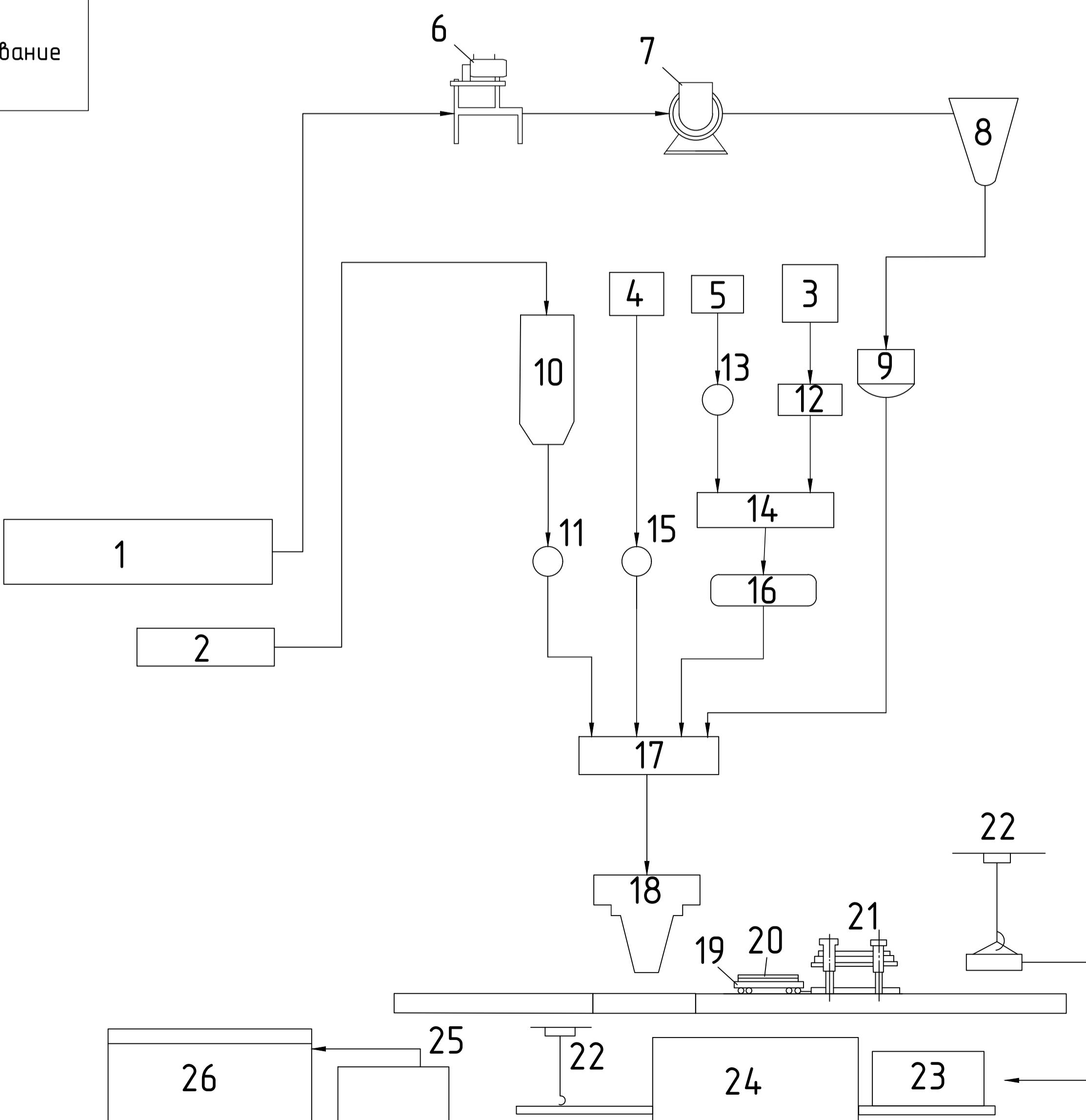
Предоставлено в электронном виде

# Технология изготавления арболита

## Функциональная схема



# Технологическая схема



Поз.	Наименование
1	Склад древесины
2	Склад золы-унос
3	Склад микрокремнезема
4	Склад химических добавок
5	Бак для воды
6	Циркулярный станок
7	Диско-молотковая дробилка
8	Бункер древесной мелочи
9	Пересыпной бункер
10	Бункер золы
11	Дозатор золы-унос
12	Дозатор
13	Дозатор воды
14	Турбулентный смеситель
15	Дозатор химических добавок
16	Бак суспензии
17	Смеситель для арболитовой смеси
18	Подъемно-поворотный бункер
19	Вибротележка
20	Форма
21	Вибропресс
22	Механизм захвата форм
23	Массив арболитовых блоков
24	Камера тепловой обработки
25	Пост распалубки
26	Склад готовой продукции

					КП-08.03.01 ТЛ		
					Сибирский федеральный университет		
					Инженерно-строительный институт		
Изм.	Кол.	№ докум.	Подп.	Дата.	Разработка составов арболита на золе Абаканской ТЭЦ	Стадия	Лист
Разраб.	Пагеев В.Е.						
Руковод.	Шебченко В.А.						
Зав.каф.	Енджиевская И.Г.						
Н. контр.	Шебченко В.А.				Технология изготавления арболита	Стадия	Лист

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

Инженерно-строительный институт  
институт  
Строительные материалы и технологии строительства  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
*Енджиевская* И.Г. Енджиевская  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_ 2020 г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

В виде научной работы

08.03.01 «Строительство»  
код, наименование направления

Разработка составов арболита на золе Абаканской ТЭЦ  
тема

Руководитель

*Шевченко*

подпись, дата

к.т.н., профессор Шевченко В.А.

должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускники

*Пагеев*

подпись, дата

Пагеев В.Е.

инициалы, фамилия

Красноярск 2020