

На правах рукописи



Синицина Екатерина Александровна

**ТЕХНОЛОГИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПРЕССОВАНИЯ В
ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ ЧЕРЕПИЦЫ
ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

Специальность 2.1.5 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» на кафедре «Строительные конструкции».

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Строительные
конструкции» ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной технический
университет»

Недосеко Игорь Вадимович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой «Технологии
вяжущих веществ и бетонов»
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Московский
государственный строительный
университет»

Самченко Светлана Васильевна

доктор технических наук, доцент,
доцент кафедры «Технология строительных
материалов, изделий и конструкций»
ФГБОУ ВО «Казанский государственный
архитектурно-строительный университет»

Хохряков Олег Викторович

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»

Защита диссертации состоится 10.07.2024г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д ПНИПУ.05.20 на базе ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский университет» по адресу: 614990, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский университет» и на сайте <http://www.pstu.ru/>.

Автореферат разослан ____ . ____ . 2024г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Марина Олеговна Карпушко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время для устройства скатных кровель наиболее распространены следующие виды кровельных материалов и изделий: волнистые и плоские асбестоцементные листы (шифер); металлочерепица; профилированные металлические листы (профнастил); гибкая (битумная) черепица; битумный волнистый лист ондулин (еврошифер); композитная черепица; керамическая черепица; цементно-песчаная черепица; полимерпесчаная черепица, каждый из этих материалов обладает определенными достоинствами и недостатками.

Наибольшей долговечностью (100 лет и более) из всех кровельных материалов и изделий обладает керамическая черепица, изготавливаемая из природного глинистого сырья, ее важнейшими достоинствами является негорючесть, высокая огнестойкость, морозостойкость и коррозионная стойкость, бесшумность во время непогоды. К недостаткам керамической черепицы можно отнести хрупкость и сравнительно большой вес, что приводит к увеличению материалоемкости и удорожанию стропильных конструкций. Также значительным недостатком керамической черепицы являются высокие требования к глинистому сырью и энергоемкая технология производства, что в конечном итоге приводит к высокой стоимости готовых изделий.

Альтернативой керамической черепице является цементно-песчаная черепица, которая также является негорючей, но при этом производится из широко распространенных материалов – цемента и мелкого песка, не требует энергоемкого высокотемпературного обжига, и за счет этого имеет значительно меньшую стоимость. Однако, цементно-песчаные кровельные изделия, изготавливаемые по традиционным технологиям (вибропрессование, прокатка, вибропрокатка), имеют невысокую прочность, их значительным недостатком также является пористая шероховатая лицевая поверхность, на которой задерживаются пыль, грязь, отходы жизнедеятельности птиц, поселяются лишайники и мхи, в результате требуется периодическая очистка поверхности кровли механическим или химическим способом. Для улучшения качества поверхности цементно-песчаной черепицы на нее дополнительно наносится специальное покрытие (т.н. «глазурь»), что позволяет устранить шероховатость поверхности, получить плотную структуру поверхностного слоя, повысить морозостойкость изделий, однако это является дополнительной технологической операцией и повышает стоимость черепицы.

В настоящей работе предложено применение одностадийной технологии фильтрационного прессования для изготовления цементно-песчаной черепицы, обладающей высокой прочностью, водонепроницаемостью и морозостойкостью, а также гладкой лицевой поверхностью, не требующей дополнительной обработки.

Степень разработанности темы исследования: Теоретическими основами научного исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых в области структурообразования цементных систем и получения многокомпонентных бетонов с высокими технологическими и

эксплуатационными свойствами, представленные в работах Ю.М.Баженова, В.Б.Ратинова, А.Ф.Полака, В.Г.Батракова, П.Г.Комохова, В.В.Бабкова, В.И.Калашникова, С.С.Каприелова и др., а также труды отечественных и зарубежных ученых в области получения строительных изделий по технологии фильтрационного прессования, представленные в работах И.М.Ляшкевича, В.В. Бабкова, И.В.Недосеко.

Однако, в настоящее время недостаточно изученным является вопрос использования технология фильтрационного прессования применительно к цементным системам для изготовления кровельных и облицовочных изделий высокой прочности и долговечности из мелкозернистого бетона.

Цель работы - получение цементно-песчаной кровельной черепицы повышенной прочности и долговечности по одностадийной технологии фильтрационного прессования.

Объект исследования – мелкозернистые бетоны на цементной основе, получаемые по технологии фильтрационного прессования из высокопластичных бетонных смесей с отводом избыточной воды затворения, и кровельные изделия на их основе.

Предмет исследования является установление закономерностей формирования структуры и свойств мелкозернистого бетона при изготовлении цементно-песчаных кровельных изделий по технологии фильтрационного прессования.

Задачи исследований:

1. Провести теоретическое обоснование возможности получения структур высокой прочности и долговечности на цементно-песчаной основе методом фильтрационного прессования.

2. Теоретически и экспериментально оценить количественное влияние минерального наполнителя в составе сырьевой смеси на изменение структурно-механических характеристик цементно-песчаного композита в условиях приложения прессующего давления.

3. Исследовать основные факторы (состав и свойства бетонной смеси, давление и время прессования), влияющие на процессы структурообразования и твердения пластичных смесей из мелкозернистого бетона при фильтрационном прессовании кровельных и облицовочных изделий.

4. Дать сравнительную оценку характеристик цементно-песчаных композитов, получаемых методом фильтрационного прессования, в сравнении аналогами, изготавливаемыми по традиционным технологиям литья и виброформования. Исследовать структуру образцов из мелкозернистого бетона, изготовленных по технологии фильтрационного прессования, с применением РФА и электронной микроскопии.

5. Разработать с использованием метода фильтрационного прессования низкоэнергоемкую одностадийную технологию производства цементно-песчаной черепицы, и с ее использованием изготовить экспериментальные образцы цементно-песчаной черепицы и оценить их физико-механические и эксплуатационные характеристики.

6. Провести апробацию предложенной технологии, разработать нормативно-техническую документацию (технологическая схема производства, технические условия) на цементно-песчаную черепицу, регламентирующую основные аспекты производства и применения данных изделий.

Научная новизна исследования:

1. Систематизированы и обобщены механизмы управления структурой и свойствами цементно-песчаных композитов, обеспечивающие формирование высоких прочностных ($R_b \geq 50 \text{ МПа}$, $R_{bt} \geq 5 \text{ МПа}$) и эксплуатационных ($w_m < 4\%$, $F \geq 300$ циклов) показателей в условиях фильтрационного прессования.

2. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены основные закономерности изменения технологических (подвижность), физико-механических (интегральная и дифференциальная пористость, прочность на сжатие и на растяжение при изгибе) и эксплуатационных (водонепроницаемость, морозостойкость) свойств неармированных и дисперсно-армированных цементно-песчаных композитов в зависимости от количественного соотношения исходных компонентов сырьевой смеси и параметров фильтрационного прессования.

3. Установлено положительное влияние инертного дисперсного наполнителя в виде минерального порошка из карбонатных горных пород или отходов химической промышленности в составе сырьевой смеси на технологические (пластичность, снижение В/Ц и В/Т, повышение степени гидратации) и прочностные характеристики цементно-песчаного композита при изготовлении строительных изделий по технологии фильтрационного прессования.

4. Уточнены аналитические зависимости, связывающие количественные параметры капиллярно-поровой структуры (общая пористость, средний диаметр капиллярных пор) цементно-песчаного композита с содержанием тонкодисперсного инертного наполнителя и степенью гидратации цемента для условий фильтрационного прессования.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в определении основных закономерностей, связывающих формирование реологических и структурно-механических параметров мелкозернистых бетонов в условиях фильтрационного прессования с количественным составом исходных сырьевых смесей (содержание и гранулометрический состав цемента, инертных наполнителей и заполнителей, процент дисперсного армирования) и характеристиками твердеющих композитов на цементно-песчаной основе (степень гидратации, параметры интегральной и дифференциальной пористости), а также параметрами технологического процесса (величина, скорость и длительность приложения прессующего давления).

Практическое значение работы заключается в расширении сырьевой базы производства кровельных изделий на цементно-песчаной основе за счет использования некондиционных мелких песков, отсевов дробления известняков, карбонатных отходов химической промышленности, и разработке одностадийной низкоэнергоемкой фильтр-прессовой технологии изготовления цементно-песчаной черепицы на их основе.

Разработаны и апробированы составы высокоподвижных смесей на цементно-песчаной основе для получения цементно-песчаных кровельных изделий с высокой плотностью, прочностью и гладкой лицевой поверхностью.

Для повышения эффективности технологии фильтрационного прессования при производстве кровельных цементно-песчаных изделий предложен способ раздельно-последовательной подачи в пресс-форму сырьевой смеси двух разных составов: высокоподвижной цементно-песчаной смеси с тонкомолотым минеральным наполнителем и суперпластификатором для формирования лицевой части изделия, и фиброармированной пластифицированной цементно-песчаной смеси с тонкомолотым минеральным наполнителем для формирования остального объема изделия с последующим фильтрационным прессованием изделий.

Предложенная на основе метода фильтрационного прессования пластичных цементно-песчаных смесей одностадийная технология производства кровельной черепицы позволяет обеспечить высокие прочностные и эксплуатационные характеристики получаемых изделий, существенно снизить энергоемкость производственного процесса и удельные капитальные вложения в его организацию, и, соответственно, повысить общую технико-экономическую эффективность выпуска изделий по сравнению с традиционными технологиями производства керамической и цементно-песчаной черепицы.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 2.1.5 – Строительные материалы и изделия, п.1 «Разработка и развитие теоретических и методологических основ получения строительных материалов неорганической и органической природы с заданным комплексом эксплуатационных свойств», и п. 9 «Разработка составов и совершенствование технологий изготовления эффективных строительных материалов и изделий с использованием местного сырья и отходов промышленности».

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертационного исследования являются основные положения теории формирования структуры бетонов, имеющих в составе тонкомолотый минеральный наполнитель. Исследования проводились с применением стандартных методов анализа на основе актуальных нормативных документов, действующих на территории Российской Федерации, с использованием современного поверенного исследовательского оборудования. При исследовании структуры мелкозернистого бетона применялись методы рентгенофазового анализа и электронной микроскопии. Обработка результатов экспериментальных исследований выполнена с использованием статистических методов обработки экспериментальных данных.

Степень достоверности результатов. Оценка достоверности результатов диссертационных исследований автора основана на воспроизводимости полученных в аттестованной лаборатории с применением поверенных средств измерения и аттестованного оборудования результатов определения физико-

механических и эксплуатационных характеристик образцов цементно-песчаных изделий, изготовленных по методу фильтрационного прессования. Теоретические зависимости, положенные в основу получения цементных систем повышенной плотности, прочности и долговечности, базируются на основных теоретических положениях структурообразования цементных бетонов и хорошо согласуются с опубликованными по теме диссертации результатами теоретических и экспериментальных исследований других авторов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния наполнителей различной дисперсности на карбонатной и кварцевой основе на технологические и физико-механические свойства мелкозернистых бетонов.

2. Результаты исследований по выявлению закономерностей влияния различных технологических факторов (состав цементно-песчаных смесей, давление и длительность процесса прессования) на свойства цементно-песчаных композитов, получаемых по методу фильтрационного прессования.

3. Результаты исследований физико-механических и эксплуатационных свойств композитных систем на цементной основе с тонкодисперсным наполнителем, полученных по методу фильтрационного прессования.

4. Одностадийная технология производства цементно-песчаной черепицы по методу фильтрационного прессования с отдельно-последовательной подачей сырьевой смеси в пресс-форму.

Личный вклад автора заключается в поставке целей и задач исследования, разработке программы и выборе методов исследования, определении основных факторов, влияющих на свойства изделий, получаемых методом фильтрационного прессования, определении основных закономерностей изменения физико-механических и строительно-технологических свойств цементно-песчаных композитов в зависимости от количественного соотношения компонентов сырьевой смеси и параметров фильтрационного прессования, разработке способа отдельно-последовательной подачи сырьевой смеси в форму с целью изготовления цементно-песчаных кровельных изделий по одностадийной технологии фильтрационного прессования, формулировке заключения и основных выводов по диссертационной работе.

Апробация результатов работы. Материалы и положения данной научно-квалификационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийских и Международных научно-технических конференциях, в том числе: Международной НТК «Вторые Полаковские чтения» (Уфа, 2017г.); XXI Международной НТК «Проблемы строительного комплекса России» (Уфа, 2017г.); Международной 11-й НТК Памяти В.Х.Хамаева (Уфа, 2017г.); 69-й НТК студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (Уфа, 2018г.); XXIII Международной НТК «Проблемы строительного комплекса России» (Уфа, 2019г.); XXV и XXVI Всероссийских НТК «Проблемы строительного комплекса России» (Уфа, 2021 и 2022гг.); 81-й Всероссийской НТК «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре» (Самара, 2024г.).

Внедрение результатов исследований. На основании результатов исследований, представленных в диссертационной работе:

- получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020663812 от 02 ноября 2020г.;

- разработаны ТУ 23.61.11-027-02069450-2024 «Черепица цементно-песчаная плоская ленточная, изготавливаемая по технологии фильтрационного прессования. Технические условия»;

- результаты используются в учебном процессе при обучении бакалавров по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» в Архитектурно-строительном институте ФГБОУ ВО «УГНТУ».

Публикации по теме работы: По результатам выполненных исследований опубликованы 14 печатных работ, из них 4 статьи опубликованы в изданиях, входящих в перечень научных изданий, рецензируемых ВАК РФ (квартили К1 и К2), и 1 статья в издании, индексируемом в наукометрических базах Scopus (Q3) и Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 184 страницах машинописного текста, состоит из введения, основной части, включающей 5 глав, заключения, списка литературы из 145 наименований и 3 приложений, содержит 84 рисунка и 30 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

Первая глава содержит аналитический обзор по теме исследования.

Выполнен обзор материалов и изделий для устройства скатных кровель, определены их основные достоинства и недостатки. Установлено, что одним из перспективных кровельных изделий является цементно-песчаная черепица, которая обладает рядом достоинств керамической черепицы, но при этом не требует энергоемкого высокотемпературного обжига и за счет этого имеет значительно меньшую стоимость.

Рассмотрены традиционные технологии изготовления цементно-песчаной черепицы (литьевая технология, вибропрессование, прокатка и вибропрокатка), определены их достоинства и недостатки. Предложен альтернативный способ изготовления цементно-песчаной черепицы по одностадийной технологии фильтрационного прессования, которая заключается в сочетании процесса прессования пластичных смесей с высоким водовязущим отношением и одновременном отводе избытка воды через фильтрующий элемент. Определено, что, исходя из своих особенностей, технология фильтрационного прессования наиболее эффективна для изготовления облицовочных плитных изделий, для которых важнейшими требованиями являются высокая водонепроницаемость и морозостойкость, а также обеспечение гладкой лицевой поверхности, не требующей дополнительной обработки.

Во второй главе рассмотрены теоретические предпосылки создания высокопрочных структур методом фильтрационного прессования.

Как известно, бетон на минеральных вяжущих является капиллярно-пористым телом, прочность которого определяется плотностью упаковки структурных элементов, а также объемом и характером дефектов структуры (пор, микротрещин и др.). Поровое пространство цементного камня характеризуется общей пористостью Π_0 , является многогранковым и включает поры нескольких характерных размеров: гелевые поры, промежуточные поры (поры между кристаллами гидратов), капиллярные поры, воздушные поры. Многогранковость пористой структуры цементного камня, обуславливающая взаимодействие пор смежных рангов в силу наложения полей напряжений, приводит к значительным дополнительным потерям прочности бетоном.

Рядом исследователей экспериментальной показано, что повышение прочности пористой структуры цементного камня возможно одним из трех путей или их сочетанием: снижением общей пористости Π_0 за счет уменьшения капиллярной пористости (путем понижения водоцементного отношения) и воздушной пористости, снижением числа рангов пор (выравниванием размеров пор) за счет разбивки крупных пор на более мелкие и равномерным распределением пор в каждой единице объема материала.

Согласно В.В.Бабкову, средний размер капиллярной поры a_y , определяемый как среднее расстояние между гидратирующими частицами вяжущего, может быть представлен как отношение капиллярной пористости к удельной поверхности гидратирующих частиц вяжущего, скорректированное коэффициентом n , учитывающим влияние формы пор:

$$a_y = \frac{V_y}{S_y} = \frac{n \cdot [w/c - \theta_x(\vartheta - 1)]}{S_{x0} \gamma_x [1 + \theta_x(\vartheta - 1)]^{2/3}} \quad (1)$$

где $n = 5 \dots 7$; w – водоцементное отношение системы; c – отношение плотностей воды и вяжущего; θ_x – степень гидратации вяжущего; ϑ – коэффициент увеличения объема твердой фазы при химическом переходе вяжущего в гидрат (около 2,2 для портландцемента); S_{x0} – удельная поверхность исходного вяжущего, $\text{м}^2/\text{кг}$; γ_x – плотность вяжущего, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для дисперсной системы, включающей, наряду с вяжущим, некоторое количество инертного либо малоактивного тонкомолотого минерального наполнителя (ТМН) $V_f = a_v \cdot V_{x0}$ (где V_{x0} – объемная концентрация вяжущего в исходном цементном растворе) приблизительно одинаковой с вяжущим плотности $\gamma_f \approx \gamma_x$, при дисперсности наполнителя по удельной поверхности $S_f = \beta \cdot S_{x0}$ и его гидравлической активности $\theta_f = \xi \cdot \theta_x$, средний размер капиллярной поры определяется как:

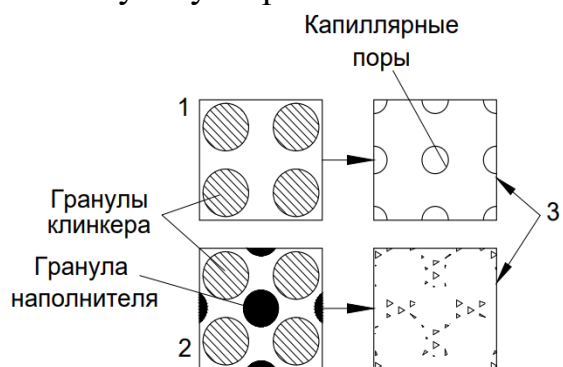
$$a_{yf} = \frac{V_{yf}}{S_{yf}} = \frac{n \cdot [w'/c - (\theta_x(\vartheta - 1) + \alpha_v + \alpha_v \theta_x \xi (\vartheta - 1))]}{S_{x0} \gamma_x \{ [1 + \theta_x(\vartheta - 1)]^{2/3} + \beta \cdot \alpha_v [1 + \xi \theta_x(\vartheta - 1)]^{2/3} \}} \quad (2)$$

где w' – водотвердое отношение системы.

Анализируя формулы 1 и 2 можно видеть, что с повышением дисперсности и концентрации (увеличение β и α_v) наполнителя значение среднего размера капиллярной поры a_{yf} в цементном камне на вяжущем с добавлением ТМН при

прочих равных условиях будет существенно снижаться по сравнению со структурой на исходном немодифицированном вяжущем.

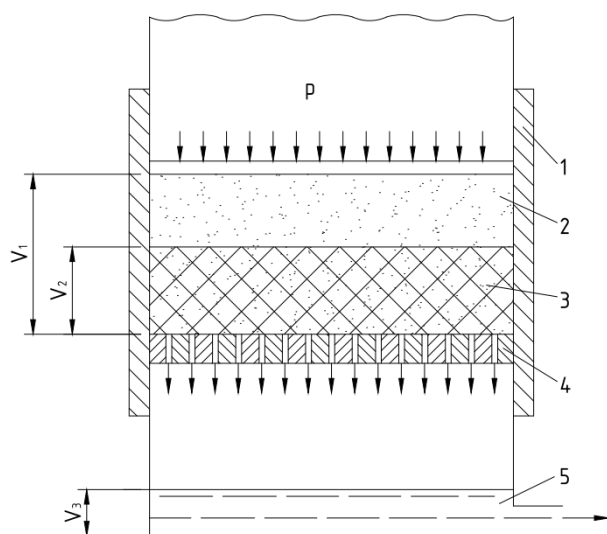
Активные или инертные минеральные добавки-наполнители (кварцевая мука, карбонатная мука, молотые металлургические шлаки, зола-уноса ТЭЦ, микрокремнезем, метакраолин и др.), получаемые из природного или техногенного сырья, в большинстве своем (кроме микрокремнезема) имеют гранулометрический состав, близкий к цементу (удельная поверхность 200-500 м²/кг). Основным фактором положительного влияния тонкомолотых минеральных наполнителей (ТМН) на структуру и физико-механические свойства цементных композиций являются снижение общей пористости и уменьшение размеров капиллярных пор в цементном камне за счет заполнения частицами минерального наполнителя промежутков между зернами цемента и создания более плотной упаковки частиц, что схематически показано на рисунке 1, а также частицы ТМН являются центрами кристаллизации и способствуют ускорению начальной стадии гидратации цементных систем.



- 1 – структурная ячейка цементного камня,
- 2 – структурная ячейка цементного камня с минеральным наполнителем,
- 3 – характер капиллярной пористости для ячеек 1 и 2

Рисунок 1 – Принципиальная схема структуры цементного камня без минерального наполнителя и с добавкой ТМН (по В.В.Бабкову)

Положительный эффект от совместного введения в бетонную смесь суперпластифицирующих добавок и ТМН может быть успешно реализован при производстве бетонных изделий по технологии фильтрационного прессования, принципиальная схема которой представлена на рисунке 2.



- 1 – элементы конструкции пресс-формы,
- 2 – исходная смесь (объем V_1),
- 3 – бетонная смесь после прессования (объем V_2),
- 4 – фильтрующий элемент,
- 5 – отфильтрованная вода

Рисунок 2 – Принципиальная схема фильтрационного прессования пластичных бетонных смесей

Наличие достаточного количества воды затворения позволяет обеспечить необходимое оводнение зерен вяжущего, требуемое для начала интенсивного процесса гидратации, а также обеспечивает хорошую удобоукладываемость смеси. Далее в процессе фильтрационного прессования избыточная вода удаляется отжатием при давлении 10-15 МПа, при этом происходит значительное уплотнение бетонной смеси с удалением излишков воздуха и снижения до минимальных значений объема воздушных и капиллярных пор. В условиях фильтрационного прессования некоторое увеличение водопотребности смесей с использованием тонкодисперсных наполнителей не играет отрицательной роли, так как избыток воды затворения удаляется через фильтрующее оборудование, что позволяет получить низкое остаточное водотвердое отношение 0,18-0,20, что в обычных технологиях труднодостижимо даже при использовании лучших суперпластификаторов. Кроме того, давление прессования положительно влияет и на кинетику гидратации и структурообразования бетона, т.к. при сжатии бетонных смесей происходит сближение гидратирующих частиц цемента, в результате чего процесс их гидратации и формирования контактов между ними протекает более активно, что позволяет получить более плотную структуру бетона и ускоренный набор прочности.

В третьей главе представлены методики проведения экспериментальных исследований и результаты определения состава и технологических параметров цементно-песчаной смеси для изготовления изделий по технологии фильтрационного прессования (ФП).

В качестве исходных материалов для подбора состава цементно-песчаной смеси были выбраны следующие:

- портландцемент ЦЕМ I 52,5 Н ГОСТ 31108-2020;
- песок с максимальной крупностью зерен 1,25мм, отсеянный из песчано-гравийной смеси, характеризуется модулем крупности 1,76 (относится к группе мелких песков), содержание илистых и глинистых частиц не превышает 1,0%. По всем показателям соответствует требованиям ГОСТ 8736-2014;
- минеральный порошок МП-1 (неактивированный) по ГОСТ Р 52129-2003 производства ООО «Миньярский карьер», содержанием зерен мельче 0,063мм составляет 75%, удельная поверхность составляет 350-400 м²/кг;
- суперпластифицирующая добавка на основе нафталинсульфонатов ПФМ-НЛК, выпускаемая ООО «Полипласт» (Россия);
- суперпластифицирующая добавка на основе поликарбоксилатов «СТС-01»;
- базальтовая фибра;
- краситель (пигмент) для объемного окрашивания бетона;
- вода техническая по ГОСТ 23732-79.

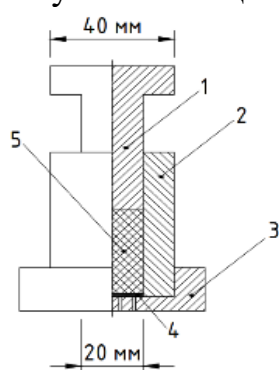
Для определения параметров цементно-песчаной смеси, пригодной для изготовления изделий по технологии ФП, были изготовлены несколько серий образцов разных составов, перечень которых представлен в таблице 1. Изготовление бетонных смесей производилось в лабораторном смесителе, перемешивание производилось в течение 180-200 секунд.

Таблица 1 – Составы цементно-песчаной смеси.

| № состава | Содержание компонентов в составе | Подвижность смеси по распылу конуса, мм |
|-----------|---|---|
| 1 | Цемент – 30%, Песок – 70%, В/Ц=0,72 (В/Т=0,72) | $R_k = 200\text{мм}$ |
| 2 | Цемент – 30%, МП – 20%, Песок – 50% В/Ц=0,8 (В/Т=0,48) | $R_k = 210\text{мм}$ |
| 3 | Цемент – 30%, Песок – 70%, СП ПФМ-НЛК – 0,4% В/Ц=0,65 (В/Т=0,65) | $R_k = 205\text{мм}$ |
| 4 | Цемент – 30%, МП – 20%, Песок – 50% СП ПФМ-НЛК – 0,4%, В/Ц=0,75 (В/Т=0,45) | $R_k = 210\text{мм}$ |
| 5 | Цемент – 30%, МП – 20%, Песок – 50% СП ПФМ-НЛК – 0,6%, В/Ц=0,75 (В/Т=0,45) | $R_k = 230\text{мм}$ |
| 6 | Цемент – 30%, МП – 20%, Песок – 50% СП ПФМ-НЛК – 0,8%, В/Ц=0,67 (В/Т=0,4) | $R_k = 260\text{мм}$ |
| 7 | Цемент – 30%, МП – 20%, Песок – 50% СП СТС-01 – 0,5%, В/Ц=0,6 (В/Т=0,36) | $R_k = 280\text{мм}$ |

Для изготовления цементно-песчаных образцов по технологии ФП использовались гидравлические прессы П-50 и П-10. Режим прессования был принят следующим: набор давления со скоростью 10МПа/мин, выдержка при рабочем давлении прессования, равном 15 МПа, в течение 3 минут, сброс давления. Время прессования контролировалось также по окончанию выделения воды из бетонной смеси, которое составляло 2 - 2,5 минуты.

По технологии ФП изготавливались два типа образцов. Образцы первого типа - цилиндры диаметром 20мм (рисунок 3), изготавливались с применением стальной цилиндрической пресс-формы, состоящей из днища с отверстиями для отвода воды, матрицы и пуансона. Образцы второго типа – пластины размером в плане 100×100мм толщиной 10мм, изготавливались с применением специальной стальной формы с полированной верхней поверхностью пуансона, на которой формируется лицевая поверхность образца (рисунок 4). Одновременно из той же цементно-песчаной смеси изготавливались образцы-балочки размером 40×40×160мм и образцы-кубы размером 70×70×70мм по стандартной технологии с виброуплотнением. Изготовленные образцы после распалубки помещались в камеру нормального твердения.



а) Пресс-форма

б) Процесс ФП

в) Образец-цилиндр

1 – пуансон, 2 – матрица, 3 – днище с отверстиями для отвода воды, 4 – фильтр, 5- формируемая смесь.

Рисунок 3 – Фильтрационное прессование цилиндрических образцов

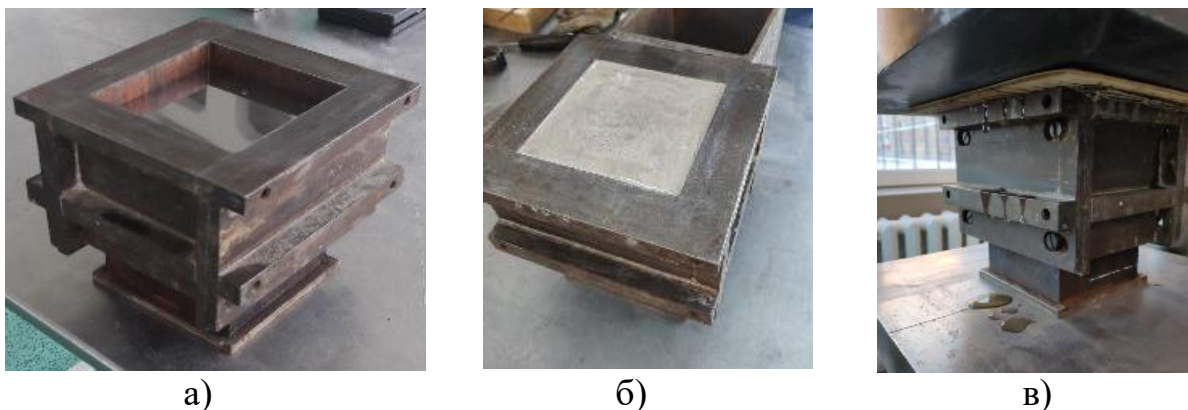


Рисунок 4 – Процесс фильтрационного прессования образцов-пластин размером 100×100мм из цементно-песчаной смеси (а – общий вид пресс-формы, б – цементно-песчаная смесь, уложенная в форму, в – удаление излишков воды в процессе фильтрационного прессования)

При разработке составов для изготовления цементно-песчаной черепицы было предложено применение минерального продукта содового производства (МПСП) - вторичного ресурса АО «БСК» (г. Стерлитамак) – как инертной минеральной добавки в качестве замены минерального порошка из природных горных пород. МПСП представляет собой твердый кускообразный негорючий материал с влажностью 30-35%. Минералогический состав МПСП (таблица 2), представлен преимущественно карбонатом кальция CaCO_3 (от 49 до 61%). Содержание $(\text{CaO}+\text{MgO})_{\text{акт}}$ находится в пределах от 5 до 8%, содержание двухводного $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и полуводного $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ гипса - от 10 до 15%.

Таблица 2 - Сводная таблица результатов рентгенофазового анализа 10 проб МПСП

| № поз | Наименование минерала | Химическая формула | Количество, % по массе |
|-------|-----------------------|---|------------------------|
| 1 | Calcite | CaCO_3 | 48,67 - 61,83 |
| 2 | Hydrotalcite | $(\text{Mg}_{0,67}\text{Al}_{0,33})(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_{0,17}(\text{H}_2\text{O})_{0,5}$ | 4,90 - 8,62 |
| 3 | Calcite magnesian | $(\text{Mg}_{0,03}\text{Ca}_{0,97})(\text{CO}_3)$ | 1,19 - 5,17 |
| 4 | Monohydrocalcite | $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 2,23 - 4,52 |
| 5 | Magnesite | MgCO_3 | 1,55 - 3,32 |
| 6 | Gypsum | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 9,51 - 12,05 |
| 7 | Bassanite | $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ | 2,03 - 10,88 |
| 8 | Brucite | $\text{Mg}(\text{OH})_2$ | 3,13 - 5,60 |
| 9 | Portlandite | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 0,61 - 3,38 |
| 10 | Nordstrandite | $\text{Al}(\text{OH})_3$ | 3,68 - 6,99 |
| 11 | Halite | NaCl | 1,27 - 2,44 |
| 12 | Nitratine | NaNO_3 | 1,40 - 7,41 |
| 13 | Enstatite | MgSiO_3 | 3,42 - 6,79 |

По своим характеристикам МПСП после сушки и измельчения может быть отнесен к инертным минеральным добавкам согласно ГОСТ 56592-2015. Проведенные экспериментальные исследования показали возможность использования МПСП в качестве минеральной добавки взамен минерального порошка из природных карбонатных пород без ухудшения технологических и прочностных свойств затвердевшего мелкозернистого бетона.

Результаты определения прочности на сжатие образцов мелкозернистого бетона представленных в таблице 1 составов, изготовленных по технологии ФП (при давлении прессования 15 МПа) и по традиционной литьевой технологии, представлены в виде графика на рисунке 5.

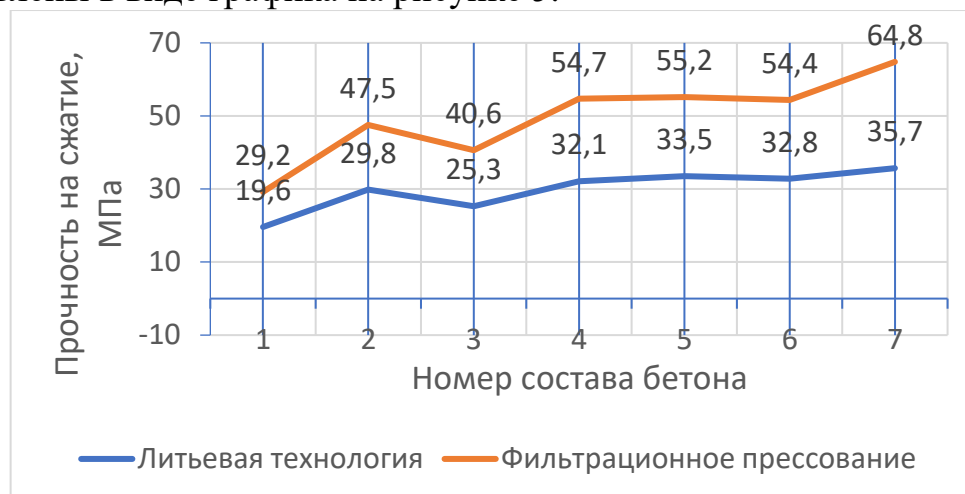


Рисунок 5– Прочность при сжатии образцов мелкозернистого бетона, изготовленных по литьевой технологии и технологии ФП.

Наибольшие значения прочности при сжатии показали образцы мелкозернистого бетона состава №7, характеризующегося наибольшей подвижностью, наличием в составе минерального наполнителя, но при этом (за счет использования суперпластификатора на поликарбоксилатной основе) относительно небольшое В/Т. Плотность и прочность образцов мелкозернистого бетона, изготовленных по технологии ФП, значительно выше чем у образцов аналогичных составов, изготовленных по литьевой технологии. Образцы мелкозернистого бетона, изготовленные по технологии ФП, характеризуются ускоренным набором прочности при сжатии, в возрасте 7 суток она составляет 75-82% от 28-суточной. Водопоглощение образцов, изготовленных по технологии ФП, в 2-2,5 раза ниже водопоглощения образцов, изготовленных по литьевой технологии (рисунок 6).

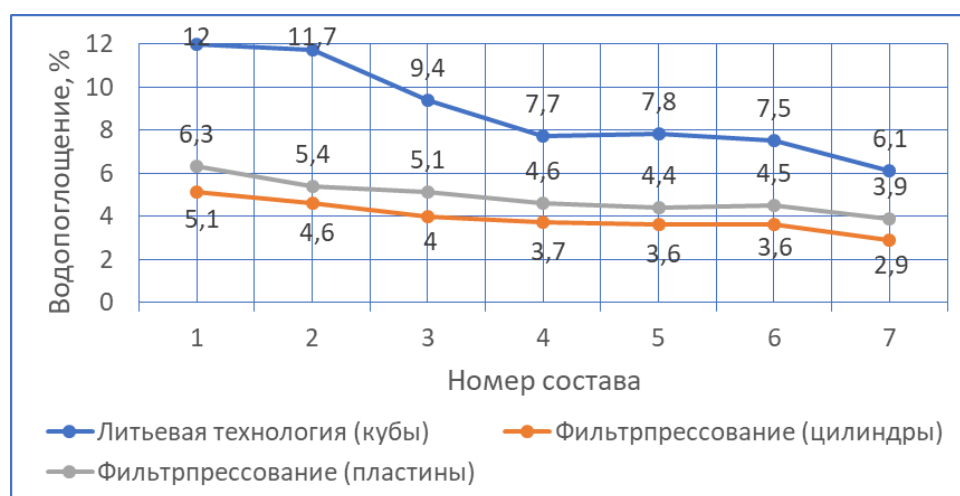


Рисунок 6 – Водопоглощение образцов мелкозернистого бетона, изготовленных по литьевой технологии и технологии ФП.

Важнейшим требованием к цементно-песчаной черепице является качество её лицевой поверхности. Результаты оценки качества лицевой поверхности образцов-пластин из мелкозернистого бетона разных составов, изготовленных по технологии ФП, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Качество лицевой поверхности образцов-пластин, изготовленных по технологии фильтрационного прессования.

| | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| <p>Состав №1 - На поверхности много мелких и крупных пор диаметром до 2-3мм. Качество поверхности наихудшее из всех составов.</p> | <p>Состав №4 – Поверхность гладкая, имеется незначительное количество мелких пор. Качество поверхности лучше, чем у составов №1 - №3, но хуже, чем у состава №7</p> | <p>Состав №7 - Поверхность очень гладкая, с глянцевым блеском, поры отсутствуют. Качество поверхности наилучшее из всех составов</p> |

Наилучшее качество лицевой поверхности имеет образец состава №7, изготовленный из высокопластичной цементно-песчаной смеси с ТМН и суперпластификатором на поликарбоксилатной основе при В/Т = 0,36. Таким образом, для изготовления цементно-песчаных кровельных изделий с качественной лицевой поверхностью наилучшим образом подходят высокоподвижные цементно-песчаные смеси с тонкомолотым минеральным наполнителем, имеющие при этом низкое водотвердое отношение за счет применения высококачественных суперпластифицирующих добавок.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований по получению высокопрочных структур на основе цементных композитов методом фильтрационного прессования. В качестве исходного состава принят мелкозернистый бетон с соотношением цемент : песок = 1 : 2. Водотвердое отношение (В/Т) подбиралось из условия получения высокоподвижной смеси ($P_k = 270-280$ мм) при постоянном расходе поликарбоксилатного суперпластификатора (0,6% от массы цемента + наполнителя) за счет корректировки расхода воды.

При разработке плана исследований факторами, влияющими на прочность цементно-песчаного композита, принимались: x_1 – процент замены цемента на тонкомолотый минеральный наполнитель в составе смеси; x_2 – давление прессования, МПа. При проведении исследований ТМН вводился в растворную смесь в качестве частичной замены цемента в количестве от 10 до 60%. Давления прессования принимались равными 5, 10, 15 и 20 МПа. Результаты испытания образцов-цилиндров представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Прочность на сжатие после 28 суток н.т. мелкозернистого бетона в зависимости от содержания ТМН и давления прессования

| Соотношение компонентов Ц/МП, % по массе | Прочность при сжатии при литьевой технологии | Прочность при сжатии в возрасте 28 суток н.т., МПа, при давлении прессования | | | |
|--|--|--|--------|--------|--------|
| | | 5 МПа | 10 МПа | 15 МПа | 20 МПа |
| 100 : 0 | 40,5 | 49,8 | 58,2 | 64,8 | 69,0 |
| 90 : 10 | 41,0 | 50,8 | 59,5 | 66,0 | 70,1 |
| 80 : 20 | 39,6 | 51,7 | 59,0 | 65,8 | 69,4 |
| 70 : 30 | 37,9 | 50,5 | 58,3 | 65,2 | 68,3 |
| 60 : 40 | 35,7 | 49,4 | 57,6 | 65,0 | 68,1 |
| 50 : 50 | 32,2 | 48,3 | 55,2 | 63,4 | 66,5 |
| 40 : 60 | 29,8 | 45,6 | 51,0 | 61,5 | 63,0 |

По результатам реализации разработанного плана исследований были получены коэффициенты уравнений и следующая математическая модель в виде функции отклика $y(R_{сж}^{28})$:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1x_2 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2 \quad (3)$$

где y – прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа;

x_1 – содержание тонкомолотого наполнителя в составе смеси, %

x_2 – давление прессования, МПа.

$$y = 39,1349 + 0,0982x_1 + 2,5557x_2 + 0,0033x_1x_2 - 0,0041x_1^2 - 0,0558x_2^2 \quad (4)$$

Графическая интерпретация полученных зависимостей представлена на рисунке 7.

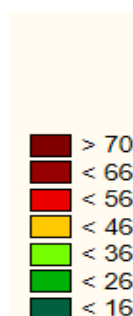
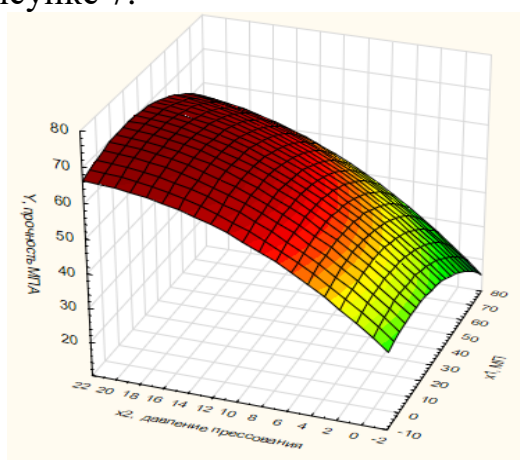


Рисунок 7 – Влияние состава смеси (X_1) и давления прессования (X_2) на прочность при сжатии цементно-песчаного композита после 28 суток н.т. (Y).

Данные по начальному и остаточному (после завершения процесса ФП) В/Т в зависимости от состава сырьевой смеси и давления прессования представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Зависимость начального и остаточного В/Т от состава смеси и давления прессования.

| Соотношение компонентов Ц/МП, % по массе | Начальное водотвердое отношение, В/Т | Остаточное водотвердое отношение, В/Т при давлении прессования, равном | | | |
|--|--------------------------------------|--|--------|--------|--------|
| | | 5 МПа | 10 МПа | 15 МПа | 20 МПа |
| 100 : 0 | 0,45 | 0,31 | 0,29 | 0,27 | 0,26 |
| 90 : 10 | 0,43 | 0,29 | 0,27 | 0,25 | 0,24 |
| 80 : 20 | 0,41 | 0,27 | 0,25 | 0,23 | 0,22 |
| 70 : 30 | 0,39 | 0,26 | 0,24 | 0,22 | 0,21 |
| 60 : 40 | 0,37 | 0,24 | 0,22 | 0,21 | 0,20 |
| 50 : 50 | 0,35 | 0,23 | 0,21 | 0,20 | 0,19 |
| 40 : 60 | 0,32 | 0,22 | 0,20 | 0,19 | 0,18 |

Как видно из результатов исследований, при замене в составе сырьевой смеси до 40% цемента на ТМН прочность цементно-песчаного композита остается на прежнем уровне, что можно объяснить уменьшением капиллярной пористости за счет снижения начального В/Т при равной подвижности смеси по причине меньшей водопотребности ТМН по сравнению с цементном. Прочность образцов цементно-песчаного композита, полученных по технологии ФП, даже при минимальном давлении значительно выше прочности образцов того же состава, полученного по литьевой технологии, что объясняется удалением воздушных пор в процессе ФП и меньшим объемом капиллярной пористости за счет низкого остаточного В/Т цементно-песчаного композита после завершения процесса фильтрационного прессования. С увеличением давления прессования прочность цементно-песчаного композита возрастает, наиболее значительный прирост наблюдается при давлениях прессования до 10-15 МПа, что хорошо согласуется с литературными данными.

С учетом того, что В/Т цементно-песчаного композита после завершения процесса фильтрационного прессования в среднем на 30-40% ниже начального В/Т, при оценке среднего размера капиллярных пор для цементно-песчаных композитов, изготавливаемых по технологии фильтрационного прессования, в формуле (2) предложено вместо параметра w' – водотвердое отношение системы, применять параметр $w'_{\text{ост}}$ – остаточное водотвердое отношение системы после завершения процесса прессования, в результате чего формула примет вид

$$a_{yf} = \frac{V_{yf}}{S_{yf}} = \frac{n \cdot [w'_{\text{ост}}/c - (\theta_x(\vartheta - 1) + \alpha_v + \alpha_v \theta_x \xi (\vartheta - 1))] }{S_{x0} \gamma_x \{ [1 + \theta_x(\vartheta - 1)]^{2/3} + \beta \cdot \alpha_v [1 + \xi \theta_x(\vartheta - 1)]^{2/3} \}} \quad (5)$$

где $w'_{\text{ост}}$ – водотвердое отношение системы после завершения ФП.

Основными факторами, определяющими долговечность цементно-песчаных кровельных изделий, изготовленных по технологии фильтрационного прессования, являются:

- наличие непрогидратировавшего клинкерного фонда (в возрасте 28 суток - до 50%, рисунок 8), гидратация которого происходит в течение длительного времени и обеспечивает постепенное увеличение прочности бетона (в течение года – до 30%, см. таблицу 6);

- стойкость к внешним воздействиям: изменению температуры и влажности (выдержали без признаков разрушения 300 циклов в климатической камере) и попеременному замораживанию и оттаиванию (морозостойкость соответствует марке F₁300).

Таблица 6 – Результаты испытаний образцов-цилиндров, изготовленных по технологии ФП, по показателю «прочность при сжатии».

| Предел прочности при сжатии R, МПа, в возрасте | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| 28 суток н.т. | 3 месяцев н.т. | 6 месяцев н.т. | 12 месяцев н.т. |
| 64,3; 61,5 | 73,2; 71,6 | 76,4; 75,3 | 81,0; 78,4 |
| 62,2; 62,9 | 71,5; 73,8 | 77,2; 76,2 | 79,6; 80,3 |
| 61,6; 63,6 | 73,4; 72,5 | 75,9; 77,1 | 80,0; 81,2 |
| Ср. 62,7 (100%) | Ср. 72,7 (+15%) | Ср. 76,5 (+22%) | Ср. 80,2 (+28%) |

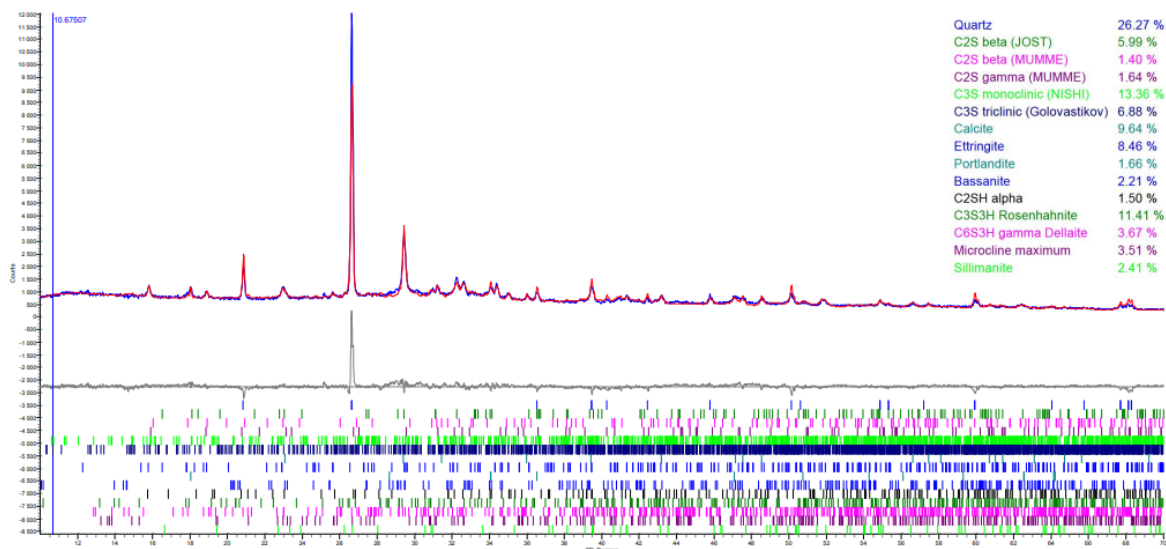
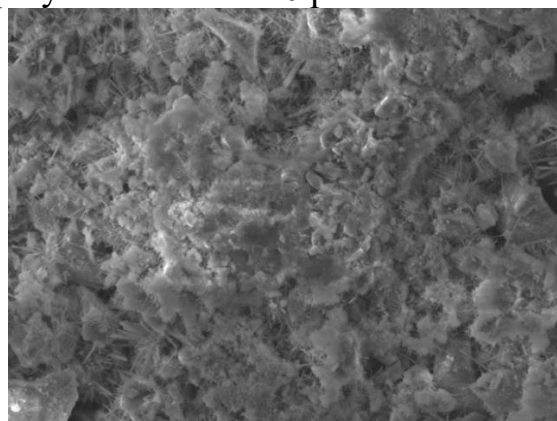
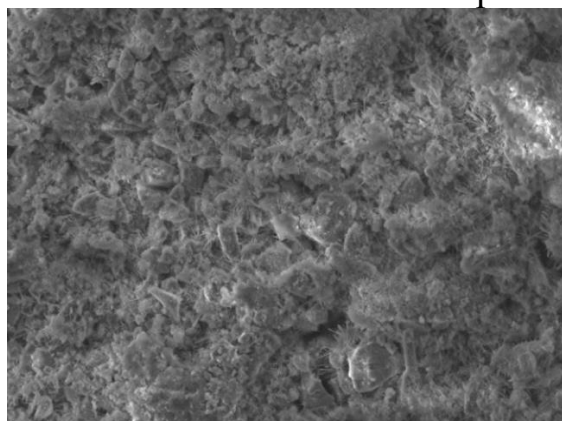


Рисунок 8 – Результаты РФА образца мелкозернистого бетона, изготовленного по технологии ФП, в возрасте 28 суток н.т.

Исследование структуры цементно-песчаных композитов, полученных по технологии ФП, выполнялись с применением растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6610LV и оптического микроскопа, фотографии представлены на рисунках 9 и 10.



Рисунок 9 – Фотографии цементно-песчаного композита, полученные на оптическом микроскопе при увеличении в 20 раз



а) – увеличение в 500 раз

б) – увеличение в 1000 раз

Рисунок 10 – Фотографии структуры цементно-песчаного композита, полученные на электронном микроскопе при увеличении в 500 и 1000 раз

Как видно из рисунка 9, образцы, изготовленные по технологии фильтрационного прессования, имеют плотную структуру мелкозернистого бетона без воздушных пор. Фотографии, выполненные при увеличении 500 и 1000 раз, показывают, что цементно-песчаный композит имеет плотную однородную структуру, крупные капиллярные поры отсутствуют.

В пятой главе предложена одностадийная технология изготовления цементно-песчаной черепицы методом фильтрационного прессования с раздельно-последовательной подачей в форму сырьевой смеси двух разных составов. Сначала в форму подается высокоподвижная цементно-песчаная смесь с минеральным наполнителем, суперпластификатором и пигментом, предназначенная для формирования лицевой части изделия, затем подается фиброармированная пластифицированная цементно-песчаная смесь с минеральным наполнителем для формирования остального объема изделия, после чего производится фильтрационное прессование изделия.

Предложенная технология была апробирована в лаборатории Архитектурно-строительного института УГНТУ. Для изготовления была выбрана плоская ленточная черепица (т.н. «бобровый хвост») со следующими габаритными размерами: длина – 365мм, ширина – 155мм, толщина – 10 ± 2 мм. Для получения экспериментальных образцов черепицы была изготовлена пресс-форма из листового металла. Нижняя часть пресс-формы («матрица») выполнена с идеально гладкой нижней поверхностью из полированного металла, формирующей верхнюю плоскость черепицы, и боковыми стенками (рисунок 11а). Верхняя часть пресс-формы («пуансон») выполнен в виде листа металла с отверстиями и вертикальными стенками в виде решетки (рисунок 11б) для передачи нагрузки в процессе прессования. Для обеспечения фильтрации влаги через отверстия в пластине пуансона в процессе прессования и предотвращения при этом выдавливания раствора к нижней поверхности пуансона закреплялся фильтрующий элемент – тканевый материал, излишки отфильтрованной воды удалялись при помощи фильтровальной бумаги.



а) – нижняя часть пресс-формы (матрица)



б) – верхняя часть пресс-формы (пуансон) (вид снизу)



в) – начальный этап процесса фильтрационного прессования

Рисунок 11– Пресс-форма для изготовления плоской ленточной черепицы и процесс фильтрационного прессования

Рецептура высокоподвижной цементно-песчаной смеси для получения лицевой поверхности изделия (толщиной 1,5 – 2 мм) была принята следующей:

- портландцемент ЦЕМ I 52,5Н – 25% от массы сухих компонентов;
- минеральный порошок МП-1 – 15% от массы сухих компонентов;
- песок – 60% от массы сухих компонентов;
- минеральный пигмент-краситель для бетона красного цвета марки «Основит» – 1% от массы сухих компонентов;
- вода из условия обеспечения В/Ц = 0,56 (или В/Т = 0,35);
- суперпластифицирующая добавка «СТС-01» – 0,6% от массы цемента.

Для формирования остального объема изделия к цементно-песчаной смеси была добавлена базальтовая фибра в количестве 5г/л растворной смеси.

Толщина черепицы, исходя из максимально допустимой массы изделия (не более 1,3 кг), была принята равной 11 мм. Прессование выполнялось на лабораторном прессе мощностью 50 тонн. Давление прессования было определено исходя из ранее проведенных исследований составило 10МПа, усилие прессования прикладывалось со скоростью около 25 КПа в секунду. Далее происходила выдержка образцов при постоянном давлении 180 секунд до прекращения выделения воды, после чего происходил сброс давления.

Предложенная технология позволила изготовить образцы плоской ленточной объемно-окрашенной цементно-песчаной черепицы с высоким качеством лицевой поверхности (рисунок 12) и одновременно обеспечить высокие прочностные и эксплуатационные характеристики изделий, которые соответствуют требованиям НТД как для цементно-песчаной, так и для керамической черепицы. При испытании серии из 10 черепиц после 28 суток нормального твердения по показателю «разрушающая нагрузка при изгибе» с использованием гидравлического пресса ИП-100 (рисунок 13) среднее значение разрушающей нагрузки составило 720 Н при коэффициенте вариации 8,5%, что соответствует нормативным требованиям как для цементно-песчаной черепицы по ПНСТ 545-2021, так и для керамической черепицы по ГОСТ Р 56688-2015.



Рисунок 12 –
Лицевая поверхность
черепицы



Рисунок 13 – Испытание
цементно-песчаной
черепицы на изгиб



Рисунок 14 – Испытание на
водонепроницаемость

Водонепроницаемость черепицы определялась по методу мокрого пятна путем установки на верхнюю поверхность черепицы кольца, заполненного водой, и выдерживания в течение 48 часов. На всех испытанных изделиях протечек влаги и увлажнения нижней поверхности изделия (появления мокрого пятна) не зафиксировано, водонепроницаемость изделий обеспечивается. Изготовленные образцы цементно-песчаной черепицы выдержали без каких-либо признаков разрушения 300 циклов попеременного замораживания-оттаивания, что превышает требования действующих НТД (не менее 200 циклов).

Автором была разработана принципиальная технологическая схема производства цементно-песчаных кровельных изделий по технологии фильтрационного прессования с раздельно-последовательной подачей смеси в форму, которая предусматривает применение как стандартного оборудования (бункеры, дозаторы, питатели, смесители), так и специфическое для данной технологии оборудование – гидравлические прессы (мощностью 100 тонн) и пресс-формы.

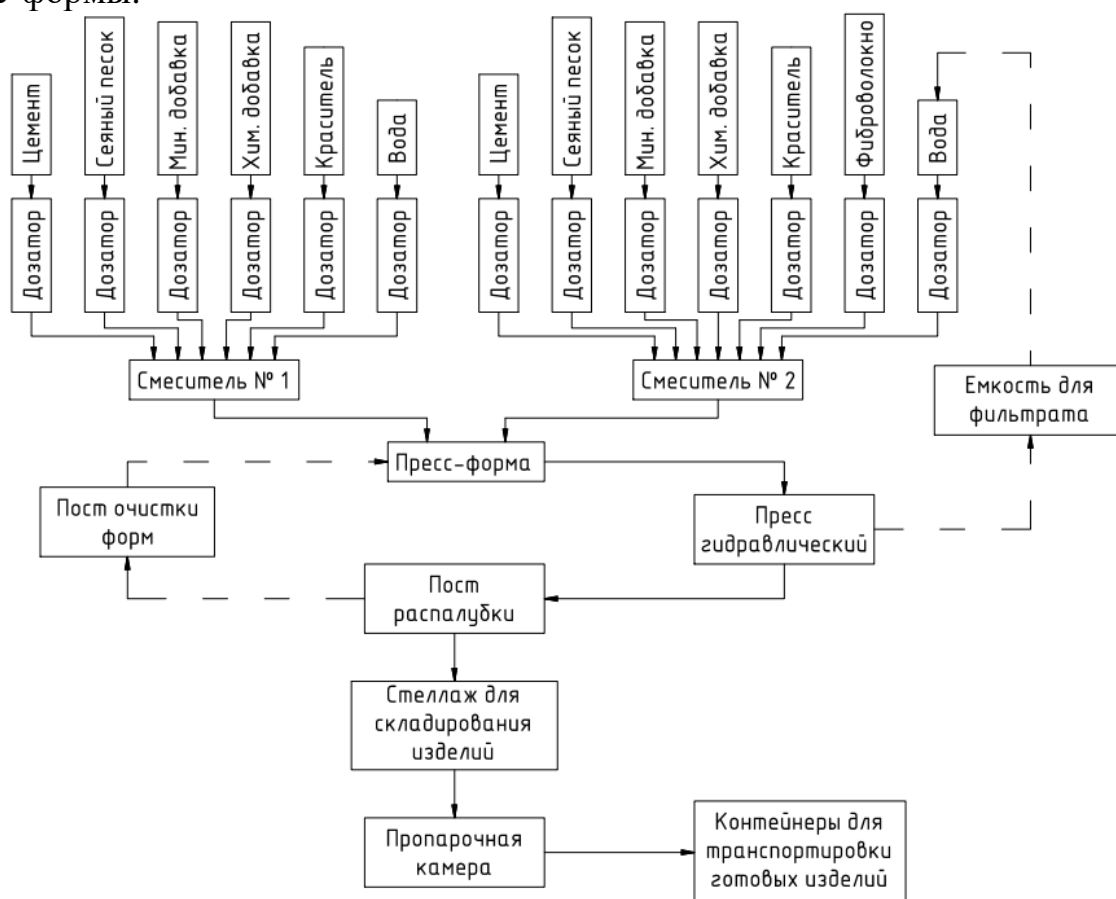


Рисунок 15 - Принципиальная технологическая схема изготовления цементно-песчаной черепицы по технологии ФП с раздельно-последовательной подачей смеси в форму

Технологический процесс производства цементно-песчаной черепицы по технологии ФП состоит из следующих основных этапов:

- доставка и складирование исходных материалов в расходных бункерах;
- дозирование всех исходных компонентов смеси с использованием автоматизированных весовых или объемных дозаторов;
- подача исходных материалов в смесители;

- смешивание исходных материалов и приготовление растворной смеси в двух смесителях принудительного действия: в первом смесителе – цементно-песчаная смесь с суперпластификатором и ТМН для лицевой поверхности изделия, во втором смесителе – фиброармированная цементно-песчаная смесь с суперпластификатором и ТМН для формирования остального объема изделия;

- раздельно-последовательная заливка цементно-песчаной смеси в форму: сначала из смесителя №1, затем из смесителя №2;

- фильтрационное прессование изделий при давлении 10-15 МПа в течение 2,5 – 3 минут. В процессе прессования из смеси удаляется избыток воды затворения через многослойный фильтрующий элемент, состоящий из фильтрующего основания в виде металлической сетки и сменного фильтрующего материала (фильтровальный картон, бумага, ткань);

- извлечение изделий из пресс-формы и укладка изделий на поддонах в кассетный накопитель;

- пропаривание изделий в пропарочной камере;

- укладка изделий в контейнеры для транспортировки.

На основании результатов исследований были разработаны ТУ 23.61.11-027-02069450-2024 «Черепица цементно-песчаная плоская ленточная, изготавливаемая по технологии фильтрационного прессования. Технические условия».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретически доказана и экспериментально подтверждена возможность изготовления высокопрочных и долговечных изделий из мелкозернистого бетона методом фильтрационного прессования высокоподвижных цементно-песчаных смесей с одновременным отводом отфильтрованной избыточной воды. Показано, что в процессе фильтрационного прессования уже при умеренных давлениях 10...15 МПа достигается остаточное водотвердое отношение, равное 0,2 – 0,25, при этом происходит значительное уплотнение бетонной смеси и уменьшение объема воздушных и капиллярных пор. Также показано, что давление прессования положительно влияет на кинетику гидратации и структурообразования бетона за счет сближения гидратирующих частиц цемента и активного формирования контактов между ними, что позволяет обеспечить ускоренный набор прочности.

2. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что повышению прочностных характеристик (на 50% и более) цементно-песчаных систем за счет снижения их пористости при использовании технологии фильтрационного прессования способствует введение в цементно-песчаную смесь тонкомолотых минеральных наполнителей на основе карбонатных пород или отходов химической промышленности в сочетании с суперпластифицирующими добавками.

3. Установлено, что основными факторами, влияющими на процессы структурообразования в условиях фильтрационного прессования пластичных цементно-песчаных смесей и на свойства получаемых цементно-песчаных композитов, являются подвижность цементно-песчаной смеси, исходное и остаточное водотвердое отношение, дисперсность заполнителей и наполнителей, а также величина прессующего давления. Показано, что для

изготовления по технологии фильтрационного прессования цементно-песчаных кровельных изделий с качественной лицевой поверхностью наилучшим образом подходят высокоподвижные цементно-песчаные смеси (расплыв конуса $R_k=270-280$ мм) с заменой тонкомолотым минеральным наполнителем 30-40% цемента, имеющие при этом низкое исходное водотвердое отношение ($V/T \approx 0,35$) за счет применения высококачественных суперпластифицирующих добавок.

4. Установлено, что оптимальным с точки зрения технологичности процесса прессования является давление прессования, равное 10-15 МПа, при продолжительности выдерживания около 180 секунд, что позволяет получить высокие ($R_b = 50-60$ МПа) прочностные характеристики мелкозернистого бетона. Долговечность цементно-песчаных изделий, изготавливаемых по технологии фильтрационного прессования, обеспечивается наличием запаса клинкерного фонда, гидратация которого в течение длительного времени обеспечивает постепенное увеличение прочности мелкозернистого бетона (в течение года – до 30%), а также стойкостью к внешним воздействиям (марка по морозостойкости не менее F_{1300}).

5. Предложена одностадийная технология изготовления цементно-песчаной черепицы методом фильтрационного прессования с раздельно-последовательной подачей в форму сырьевой смеси двух разных составов: высокоподвижной цементно-песчаной смеси с ТМН, суперпластификатором для формирования лицевой части изделия, и фиброармированной пластифицированной цементно-песчаной смеси с ТМН для формирования остального объема изделия. Предложенная технология позволяет изготавливать цементно-песчаную черепицу с высоким качеством лицевой поверхности и одновременно обеспечить высокие прочностные и эксплуатационные характеристики изделий, которые соответствуют требованиям нормативной документации как для цементно-песчаной, так и для керамической черепицы, при этом, за счет отсутствия энергоемких процессов обжига, технико-экономическая эффективность производства будет значительно выше по сравнению с традиционными технологиями производства черепицы.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК

1. Синицина Е.А., Халиков Р.М., Пудовкин А.Н., Недосеко И.В. Применение технологии фильтрационного прессования в производстве кровельных изделий // Строительные материалы – 2020. - №1-2. - С. 66-72.

2. Захаров А.В., Шаяхметов У.Ш., Синицина Е.А., Недосеко И.В., Пудовкин А.Н. Применение теории зернистой структуры в строительном материаловедении // Строительные материалы – 2020. - №9. - С. 62-68.

3. Синицина Е.А., Печенкина Т.В., Ломакина Л.Н., Дорофеева О.С., Недосеко И.В. Технология фильтрационного прессования в производстве кровельных и облицовочных изделий повышенной прочности и долговечности // Строительные материалы – 2022. - №3. - С. 74-81.

4. Синицина Е.А. Особенности производства и применения цементно-песчаной черепицы, получаемой способом фильтрационного прессования // Бюллетень строительной техники – 2023. - №12.

Статья в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science

5. Сеницина Е.А., Халиков Р.М., Силантьева Е.И., Пудовкин А.Н., Недосеко И.В. Модифицирующее усиление твердения прессованные гипсовых нанокмползитов // Нанотехнологии в строительстве – 2019. Том 11, №5. С. 549-560. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-549-560.

Публикации в других изданиях:

6. Галеева Л.Ш., Юланова Г.А., Сеницина Е.А. Использование молотого гранулированного доменного шлака производства ООО «Мечел-Материалы» для замены части цемента в тяжелых бетонах. // Вторые Полаковские чтения: сборник статей по материалам Международной НТК, посвященной 105-летию со дня рождения профессора Полака А.Ф. – Уфа, УГНТУ, 2017. С. 83-88.

7. Галеева Л.Ш., Юланова Г.А., Сеницина Е.А. Проектирование составов тяжелого бетона с использованием молотого гранулированного доменного шлака производства ООО «Мечел-Материалы» // Проблемы строительного комплекса России: Материалы XXI Международной НТК – Уфа, УГНТУ, 2017. С. 64-66.

8. Сеницина Е.А., Галеева Л.Ш., Сеницин Д.А. Перспективы применения молотого гранулированного доменного шлака ООО «Мечел-Материалы» на заводах ЖБИ Республики Башкортостан // Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук: Материалы 11-й Международной НТК Памяти В.Х.Хамаева – Уфа, УГНТУ, 2017. С.348-351.

9. Латыпова Р.А., Сеницин Д.А., Сеницина Е.А. Исследование возможности использования минерального порошка в качестве наполнителя в тяжелом бетоне // Проблемы строительного комплекса России: материалы XXII Международной НТК – Уфа, УГНТУ, 2018. С. 157-158.

10. Сеницина Е.А., Недосеко И.В. Применение каменной муки в качестве инертного наполнителя в тяжелом бетоне. // Проблемы строительного комплекса России: Материалы XXIII Международной НТК– Уфа, УГНТУ, 2019. С. 239-240.

11. Сеницина Е.А., Недосеко И.В. Сравнительный анализ нормативной документации на керамическую и цементно-песчаную черепицу // Проблемы строительного комплекса России: Материалы XXV Всероссийской НТК. – Уфа, УГНТУ, 2021. С. 174-176.

12. Сеницина Е.А. Влияние добавки тонкомолотого наполнителя на качество поверхности изделий из мелкозернистого бетона // Проблемы строительного комплекса России: Материалы XXVI Всероссийской НТК. – Уфа, УГНТУ, 2022. С. 57-59.

13. Сеницина Е.А., Дорофеева О.С., Недосеко И.В. Получение цементно-песчаных изделий по технологии фильтрационного прессования // Строительный инжиниринг. - 2023. – С. 50-61

14. Сеницина Е.А., Дорофеева О.С., Недосеко И.В. Технология фильтрационного прессования в производстве облицовочных изделий различного назначения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: Материалы 81-й Всероссийской НТК – Самара, АСА СамГТУ, 2024.

Подписано в печать ____ . ____ .2024 г. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,40 (1 авт. лист)

Тираж 100 экз. Заказ № ____

Отпечатано в Уфимском государственном нефтяном техническом университете
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1