

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. П. ПИЧУГИН,
В. Ф. ХРИТАНКОВ, И. В. БЕЛАН

**СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ
С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Монография

Новосибирск 2014

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., засл. строитель РФ *А. С. Денисов* (Новосибирск)

д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ *В. Г. Хозин* (Казань)

А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, И. В. Белан

Сухие строительные смеси с повышенными эксплуатационными характеристиками. – Монография. – НГАУ-РАЕН – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2014. – 160 с.

В книге рассказывается о сухих смесях для строительного комплекса и промышленности строительных материалов, а также о разработке и создании новых эффективных рецептур сухих смесей с добавками направленного действия. Данному материалу, который мы называем сухой смесью, от роду насчитывается несколько десятков лет. Сухие строительные смеси на различных видах вяжущего позволяют создавать большее число специальных монтажных, кладочных и отделочных растворов, обладающих специальными или заданными свойствами. Важными свойствами строительных растворов из сухих смесей являются высокие показатели прочности и адгезии. Но применяемые до настоящего времени составы не учитывали свойства основания, на которое наносилась растворная смесь по коэффициенту линейного температурного расширения, а ввиду большого интервала температур и в результате внутренних напряжений происходит нарушение взаимодействия подложки (каменного или бетонного основания) и затвердевшего раствора. В данной работе авторами учтены эти технические недочёты и получены составы, обладающие близкими показателями термического расширения с основой, что обеспечивает повышенную долговечность и совместимость в каменной кладке.

В книге представлены компоненты и основные технические характеристики смесей, методики определения их важнейших технических свойств. Кроме того, в ней описаны области применения сухих смесей и представлены технологические схемы их производства.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, в первую очередь на строителей: выпускников строительных вузов, научных работников в области строительства, а также для производственников, желающих расширить свой технический кругозор.

ISBN 5-06-00835-08

© А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков,
И. В. Белан, 2014

© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Сухие смеси широко применяются в строительстве. Однако, используемые в настоящее время сухие строительные смеси имеют ряд недостатков, к которым относятся: повышенная усадка и низкая трещиностойкость затвердевших растворов в условиях большого климатического температурного перепада Сибири, слабая адгезионная способность, высокая теплопроводность, способствующая созданию мостиков холода в каменной кладке. Для устранения этих недостатков сухих смесей необходимы оптимизация их составов.

Вблизи городов и предприятий по производству изделий строительного назначения находится большое количество различного вида отходов, что отрицательно сказывается на экологии территорий. К их числу относятся отходы асбестоцементного производства, содержащие асбестовые волокна, покрытые гидратированным цементом. Использование таких отходов может обеспечить значительный эффект по снижению затрат при производстве, повышению свойств сухих строительных смесей из местных материалов и улучшению экологической обстановки.

Работа направлена на совершенствование составов и технологии производства сухих строительных смесей, путем улучшения их свойств введением армирующих дисперсных техногенных волокнистых добавок и полимерных компонентов. Это обеспечивает повышение технологичности, прочности, водостойкости и морозостойкости и эксплуатационной надежности получаемых материалов.

В качестве основной цели данной работы явилось следующее: разработка составов, технологии и исследование структуры и свойств сухих строительных смесей с армирующими волокнистыми техногенными дисперсными добавками и полимерными компонентами для повышения их эксплуатационных характеристик при использовании в строительстве и ремонте зданий и сооружений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные и практические задачи.

Изучить свойства исходных материалов для получения сухих строительных смесей и определить рациональные их сочетания с целью эффективного использования при производстве строительных работ.

Определить состав и свойства различных компонентов и отходов производства в качестве добавок в сухие строительные смеси.

Установить закономерности влияния состава и количества вводимых добавок, способов их введения на прочностные, адгезионные, теплофизические и другие эксплуатационные показатели строительных растворов из сухих строительных смесей.

Разработать оптимальные составы, режимы и технологию введения орга-номинеральных добавок, обеспечивающие высокие показатели прочности и долговечности строительных растворов из сухих строительных смесей для получения материалов с повышенной трещиностойкостью, прочностью, адгезионной способностью и теплотехническими свойствами.

Произвести исследования структуры и свойств строительных растворов из получаемых сухих смесей для определения составов и технологических режимов производства работ.

Разработать технологический регламент и техническую документацию для производства работ со строительными растворами из сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного вида; осуществить опытно-производственное внедрение результатов исследований и произвести технико-экономическую оценку выполненной работы.

В ходе проведенных исследований разработаны эффективные составы и технологические принципы получения сухих смесей для строительных растворов, обладающих повышенной трещиностойкостью, высокой адгезионной способностью к основанию, пониженным коэффициентом теплопроводности для исключения мостиков холода в каменной кладке. При этом установлено следующее.

Для получения строительных растворов из сухих строительных смесей с прочностью на растяжение при изгибе бо-

лее 1,5–2,0 МПа целесообразно введение в его состав 10–15 % мас. дисперсных волокнистых техногенных добавок – отходов асбестоцементного производства (ОАЦП), обеспечивающих дисперсное армирование структуры строительного раствора, способствующих уменьшению коэффициента теплопроводности в два-три раза и регулирования коэффициента термического расширения.

Установлены закономерности влияния сухого клеевого ретиспергируемого порошка – сополимера винилацетата и этилена (ВАЭ) и гидроизоляционной композиции дегидрол на свойства сухих строительных смесей. Их введение способствует повышению проникающего действия добавки и увеличению адгезии строительных растворов к основанию в 1,5–2,5 раза, а также совместно с отходами асбестоцементного производства обеспечивает снижение усадки материала в 1,6–1,8 раза. Оптимальное количество проникающей композиции дегидрол в смеси составляет 2–3 % мас., что обеспечивает создание прочного сцепления с бетонным или каменным основанием с минимальной усадкой после твердения.

Доказано, что для предотвращения негативного действия воды и отрицательных температур на процесс гидратации цемента в сухих строительных смесях целесообразно повышение плотности структуры и формирование микропористости, что осуществляется введением сухого ретиспергируемого полимерного клеевого состава ВАЭ в количестве до 0,15–0,35 % от массы цемента. Это обеспечивает повышение водостойкости в полтора-два раза и морозостойкости в два-три раза. Использование сухого клеевого порошка ВАЭ позволяет снизить водоцементное отношение и обеспечить требуемые реологические характеристики при производстве работ.

Установлены закономерности сближения коэффициентов линейного термического расширения строительных растворов и стеновых материалов, что создает условия для длительной эксплуатации без нарушения целостности частей зданий. Для этого в случае легких бетонов (керамзитобетон, аглопоритобетон, перлитобетон и др.) целесообразная добавка отходов

асбестоцементного производства (ОАЦП) составляет 5–12 %; для газобетона и силикатного кирпича этот показатель составит 10–17 %; для каменной кладки из керамического кирпича – 15–20 %.

Результаты проведенных исследований имеют четкую практическую направленность, выражающуюся в следующих положительных моментах.

1. Разработан комплекс добавок в сухие строительные смеси на основе портландцемента, обеспечивающий повышение прочности материала, снижение усадочных деформаций и повышение водо- и морозостойкости за счет выравнивания коэффициентов линейного температурного расширения и других характеристик с параметрами стеновых материалов.

2. Предложена технология производства сухих строительных смесей на основе портландцемента, позволяющая получать материалы с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

3. Разработаны составы сухих строительных смесей с введением дисперсных волокнистых техногенных добавок и полимерных компонентов для применения с различными стеновыми материалами и изучены их основные свойства с учетом возможных воздействующих факторов.

4. Подготовлены и утверждены технические условия ВТУ-2675–370–006–11 «Сухие строительные смеси с комплексом органоминеральных добавок для каменных и монтажных работ», а также «Рекомендации» по их реализации, которые переданы в строительные организации.

5. Разработанные материалы и технологические процессы внедрены при производстве сухих строительных смесей в заводских условиях в Новоси-бирской области и показали высокую эффективность от их использования.

6. Предложенные составы сухих смесей позволяют получать прочность при сжатии затвердевшего строительного раствора до 10,0–12,3 МПа, адгезии к бетонному основанию 1,4–2,0 МПа, морозостойкость – до 150 циклов, усадку – 0,35–0,45 мм/м.

Глава 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

1.1. Применение сухих смесей в строительстве

Последние десятилетия в целях обеспечения высокого уровня и стабильности качества, повышения производительности труда, оптимизация затрат на транспортировку и эффективное использование стройматериалов наметилось широкое внедрение сухих строительных смесей. Применение сухих смесей способствует сокращению сроков и стоимости работ, позволяют внедрять новые технологические процессы и материалы, повышая культуру производства, эффективно используя средства малой механизации. Совершенствование качества сухих строительных смесей идет в направлении их модифицирования путем введения различных добавок и компонентов, придающих определенные качественные показатели [1–4].

Целесообразность использования сухих смесей подтверждена зарубежной и отечественной практикой строительства. Область применения сухих смесей обширна: выполнение бетонных, штукатурных, кладочных, плиточных работ, устройство покрытий полов, заделка стыков. Кроме этого, осуществлен выпуск сухих смесей для малярных, декоративных и облицовочных работ, причем для декоративных покрытий сухие смеси выпускаются с богатой палитрой цветов.

Сухие смеси имеют ряд преимуществ [2–6]:

- выполнение минимума доводочных технологических операций для перевода сухих смесей в рабочее состояние (заготовление водой);
- экономия дорогостоящего цемента (на 10–15%) за счет пластификации и водоудерживания приготовленных растворов;
- использование как при минусовых, так и при положительных температурах, что особенно актуально для сибирского региона;

- снижение отходов растворов на 5–7 % в результате порционного приготовления;
- стабильность составов в результате точной дозировки компонентов и их эффективного смешения;
- повышение производительности труда строителей на 20–25 %, благодаря улучшению пластических свойств приготовленных растворов;
- снижение транспортных расходов на 15 %;
- повышение качества строительных работ при одновременном снижении трудоемкости строительных технологических процессов.

Виды сухих смесей и растворов

Ассортимент сухих строительных смесей, выпускаемых предприятиями промышленности строительных материалов, довольно обширен и представлен следующими видами (рис. 1.1) [3–6, 8–10]:

- строительные (пескобетоны М 100, 200, 300; кладочные М 75, 50; штукатурные М 25, 10);
- клеевые (для наклейки кафеля, мрамора, гранита, ПСБС, кирпича, ячеистых бетонов);
- декоративные (цветные фасадные водостойкие, фугочные, для заделки швов кафельной плитки; обычные и цветные шпаклевки);
- специальные (огнезащитные составы ОПВ-1, теплые штукатурки и кладочные растворы с заполнителем (вермикулитом));
- наливные (самовыравнивающиеся, с водоудерживающими, водоотталкивающими свойствами); герметизирующие шламы.

Сухие смеси можно разделить по видам добавок:

- обычные растворы (глины, ЛСТМ и т. д.);
- с полимерами композициями и добавками;
- с диспергируемыми порошками, например, на основе КМЦ по технологии ИХ-ТИМС;
- с целлюлозными продуктами Габроза Х 220 и др.

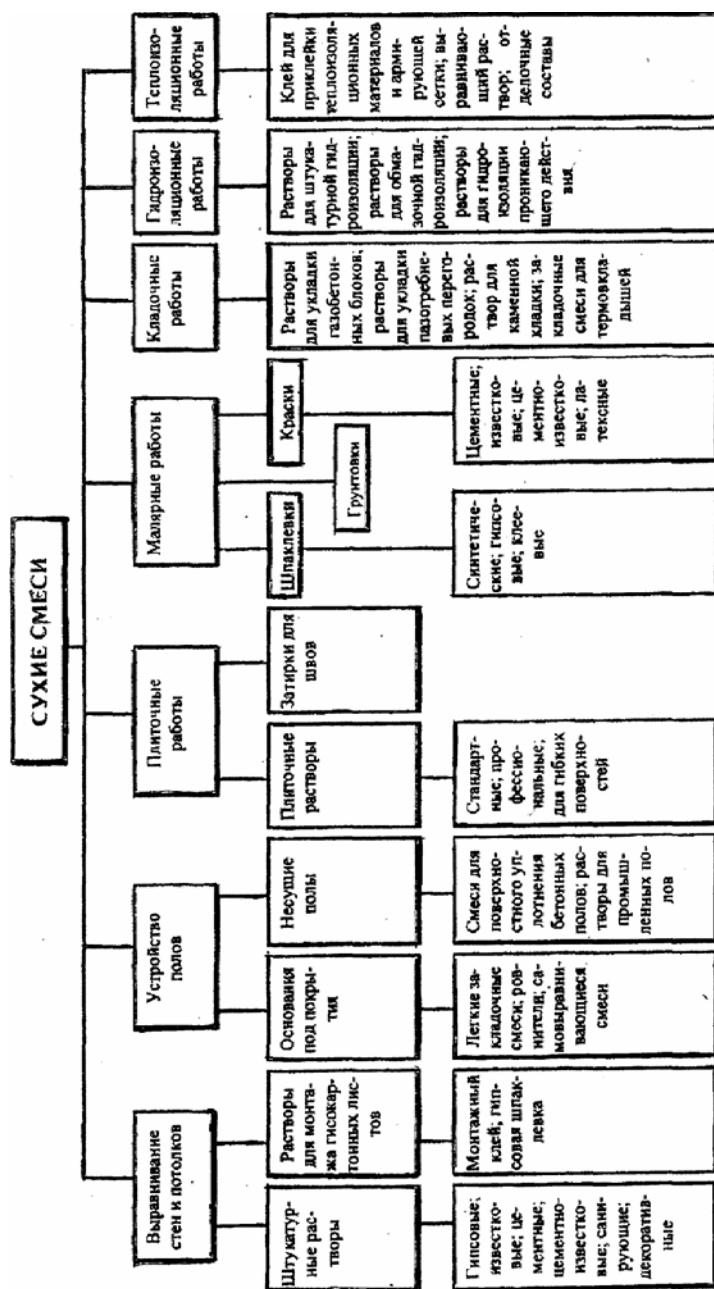


Рис. 1.1. Направления применения сухих строительных смесей

В зависимости от вида вяжущего материала сухие строительные смеси и составы можно разделить простые (с использованием одного вида вяжущего) и сложные или комбинированные на смешанных вяжущих, например, цементно-известковые, известково-золевые, известково-гипсовые и др. При этом сухие смеси можно разделить по или группам [2–4, 10]:

- цементно-песчаные смеси;
- цементно-известково-песчаные;
- известковые;
- гипсовые смеси.

По способу применения подразделяются на ручные и механического применения.

Для производства отделочных работ применяют декоративные сухие смеси используя для этих целей цветные цементы или вводя в них различные по цвету пигменты. Такие штукатурки используются при производстве фасадных и внутренних работ. Выбор вариантов сухих смесей, используемых в штукатурных работах, зависит от условий эксплуатации зданий и сооружений [3, 6–10].

Шпатлевочные составы служат для заполнения мелких пор и раковин, выравнивания поверхностей, которые предназначены под покраску или оклейку обоями, для ремонта поврежденных поверхностей. Рецептура таких материалов должна быть подобрана таким образом, чтобы обеспечивались [2–5]:

- устойчивость к усадке;
- технологичность;
- повышенную адгезионную способность.

Смеси для устройства пола должны отвечать жестким требованиям. Для этих целей используют растворы с повышенной стойкостью к ударным нагрузкам, масло- и кислотостойкостью, а также стойкостью к истиранию и другим механическим нагрузкам [4–8, 11–14].

Составы для гидроизоляционных покрытий предназначены для внутренней изоляции подвалов, ванн и других сооружений, эксплуатируемых гидростатическом давлении. Такие

смеси получают путем введения в них различного рода добавок, придающих им эластичные свойства.

Материалы для наружных работ должны быть визуально привлекательными (декоративными) и защищать материал стены, находящейся под штукатуркой. В отвержденном состоянии штукатурки должны иметь [14–17]:

- хорошую адгезию к основе;
- низкое водопоглощение и обладать водоотталкивающим эффектом;
- способность к самовысыханию после увлажнения;
- минимальную склонность к образованию трещин;
- малый модуль упругости.

В качестве отделочных материалов для производства строительных работ применяются составы на основе сухих смесей с введением в них полимерных композиций, повышающих физико-технические свойства покрытий. К таким отделочным материалам можно отнести различного рода жесткие сухие строительные смеси, шпатлевки, фасадные смеси, герметизирующие шпалы [2, 4–7, 18].

Современные растворы для штукатурки и отделки бывают сухими или мокрыми и изготавливаются в заводских условиях.

Для декоративной отделки стен зданий, сложенных из кирпича и других каменных материалов, и защиты стен от атмосферных влияний применяют следующие способы: оштукатуривание известковыми, цементными или смешанными растворами под окраску или покрытия декоративной штукатуркой [1–5].

Известковые растворы затвердевают под воздействием диоксида углерода путем карбонизации, а известково-цементные (смешанные) растворы методом карбонизации и гидратации под влиянием влаги. Чем больше цемента в растворе, тем прочнее штукатурка и быстрее будет достигнута окончательная прочность [4–8, 10].

Составы штукатурных растворов устанавливают с учетом их назначения и условий эксплуатации зданий. Подвижность штукатурных растворов и предельная крупность применяемого мелкого заполнителя для каждого слоя различны.

Для увеличения подвижности растворов вводят гидрофобно-пластифицирующие добавки [5–9, 14–18].

Декоративные (отделочные) растворы изготавливают на белом, цветном и обычном портландцементе. Заполнителем служит кварцевый песок, либо дробленые пески из белого известняка, мрамора и т.п. Для лицевого отделочного слоя панелей наружных стен применяют раствор марки 50 (для легких бетонов), а для железобетонных изделий – марки 150 с морозостойкостью не ниже F 35.

1.2. Минеральные компоненты сухих строительных смесей

Используемые при производстве сухих смесей материалы весьма разнообразны по номенклатуре и свойствам, они приданы готовым сухим смесям и растворам определенные свойства.

Материалы могут быть объединены в следующие группы [8–12, 14–17]: минеральные вяжущие;

- наполнители и заполнители;
- добавки-модификаторы различного назначения;
- пигменты – органические и неорганические;
- регуляторы схватывания – ускорители и замедлители.

Как правило, в производстве сухих смесей используют сырьевые материалы в порошкообразном состоянии различной дисперсности. Для изготовления отдельных видов сухих смесей применяют волокнистые материалы с определенной длиной волокон, а также наполнитель с размером зерен 3...10 мм. Для производства сухих строительных смесей целесообразно применять материалы, взятые у поставщиков сырья, территориально примыкающих к месту их производства [3, 12, 14–17].

Цемент

Для получения сухих смесей и растворов предусматривается применение цементного клинкера или цемента (серого и белого). В случае применения цементного клинкера производится совместный помол с песком в шаровых мельницах с последующим смешением их с наполнителями и присадка-

ми. Для производства сухих смесей используют цементы различного химико-минералогического состава, но предпочтение отдается портландцементу. Критерием выбора цемента являются: тонкость помола, сроки схватывания, водопотребность и активность, но основное условие его выбора определено назначением и условиями эксплуатации материалов, изготавливаемые на данном цементе [8–11, 18–21].

Серые цементы применяют в различных по назначению смесях, белый и цветные используют в основном в декоративных бетонах и растворах, а также в финишных шпатлевках, предназначенных для наружных и внутренних работ. В составах некоторых смесей используется глиноземистый цемент в качестве минеральной добавки, корректирующей отдельные свойства растворной смеси и затвердевшего раствора.

К материалам для тонкослойного нанесения предъявляются повышенные требования по трещиностойкости и стойкости к внешним физическим воздействиям. В этом случае требуется отдавать предпочтение использованию бездобавочных алитовых портландцементов, так как наличие в них минеральных добавок, в виде золы и шлаков, существенно влияет на стабильность химико-минералогического состава цемента.

Требования к гранулометрическому составу цемента в целом не отличаются от требований к цементам, используемым в бетонах с пониженным временем твердения [4–7, 12–15].

Гипсовые вяжущие

Строительный гипс, состоящий из полугидрата сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) – порошкообразный материал, обладающий высокоразвитой внутренней поверхностью, это обуславливает повышенную реакционную способность материала. Такая структура характерна для β – полугидрата, отличающегося повышенной водопотребностью при затворении водой. Водопотребность обычно составляет 50..70%. Это вяжущее является быстросхватывающимся, со сроками твердения от 2 до 30 мин [5, 8–13, 20].

Быстрое схватывание полуводного гипса является в большинстве случаев положительным его свойством, позволяющим быстро извлекать изделия из форм. Однако в ряде случаев быстрое схватывание нежелательно. Для регулирования сроков схватывания (ускорения и замедления) в гипсовое вяжущее при затворении вводят различные добавки, иногда комплексные, состоящие из веществ, принадлежащим к разным классам [13–16]. Они открывают широкие возможности регулирования процесса схватывания вяжущих и создания оптимальных условий для формирования изделий.

Прочность изделий из полуводного гипса снижается в той или иной мере при введении в них заполнителей. При этом органические заполнители (опилки, костра, торф) вызывают более значительное снижение прочности, чем минеральные [21–23, 26–28].

Поскольку гипсовые материалы относятся к вяжущим воздушного твердения, характеризующим большой долговечностью при службе их в воздушно-сухой среде, их целесообразно применять в отделочных смесях, используемых для внутренних работ. При длительном воздействии воды, особенно при низких температурах, когда изделия в водонасыщенном состоянии систематически то замерзают, то оттаивают, они разрушаются. Плотные гипсовые изделия выдерживают обычно 15...20 и более циклов попеременного замораживания и оттаивания [29–32, 34–36].

Водостойкость изделий на гипсовых вяжущих можно несколько повысить:

- 1) применением интенсивных способов уплотнения гипсобетонных смесей при формовании;

- 2) введение в гипсовую массу синтетических смол, гидрофобных веществ и т. п.

- 3) нанесением защитных пленок или пропитыванием изделий растворами добавок. Наиболее эффективным является применение смешанных вяжущих, представляющих собой композиции из полуводного гипса, портландцемента или доменных гранулированных, а также пуццолановых добавок

и небольшого количества синтетических смол, кремнийорганических соединений и др. [11, 14, 39].

Применение строительного гипса в производстве гипсопесчаных растворов позволяет улучшить технологические свойства. Адгезионная связь с основой улучшается благодаря введению в смеси дисперсных порошков. В чистом виде прикреплению гипсоизвестковых растворов к основам затруднено [39–42, 45].

Заполнители и наполнители

Роль заполнителей и наполнителей в твердеющей смеси весьма велика. Структурно-технические свойства растворов и бетонов во многом зависят от оптимального содержания сырьевых материалов, входящих в состав сухих строительных смесей. Количество их в составе сухих смесей должно быть таковым, чтобы формировать скелет основного материала – бетона или раствора, кроме того сокращать расход вяжущего, уменьшать усадочные деформации [32, 38, 39].

В качестве заполнителей для тяжелых бетонов используются щебень или гравий фракции более 3 мм из прочных горных пород, а для легких бетонов – заполнители из пористых горных пород или искусственные пористые заполнители: керамзитовый и аглопоритовый гравий, аглопоритовый щебень, вспученный перлит, вермикулит, щебень из шлаковой пемзы и др. [41, 43–47].

Мелкий заполнитель представляет обычно природные или искусственные материалы с размером зерен от 0,16 до 5 мм. В сухих смесях чаще всего используются кварцевые пески различных месторождений, отвечающие требованиям ГОСТ 8736–93.

Гранулометрический состав заполнителей должен быть таким, при котором достигается наибольшая плотность упаковки зерен. Это возможно только при введении в смесь не менее трех разных фракций, диаметр зерен которых должны соотноситься в определенной пропорции [38, 42].

Выполнение таких условий возможно, если песок перед загрузкой в расходные бункера предварительно высушен

и разделен на фракции нужных размеров. При этом влажность песка и других наполнителей не должна превышать 0,1 %. Наличие примесей в песке должно удовлетворять требованиям СНиП [42–47, 49].

В качестве наполнителей для сухих смесей используют также тонкомолотые зернистые материалы с размером частиц менее 0,15 мм минерального происхождения, к которым относятся мраморная, известняковая и доломитовая мука, молотые кварцевые пески, мел, шлаки и золы. Для финишных шпатлевок и затирок тонкомолотые зернистые наполнители могут быть основным компонентом. В составе сухих смесей предлагают использовать молотый маршаллит, пылевидный кварц, стеклопески, получаемые при разработке месторождений для стекольного производства.

Карбонатные материалы

В сухие смеси для улучшения технологических свойств вводят карбонатные материалы, которые могут играть роль как заполнителей, так и наполнителей. При этом можно получать высокие прочностные характеристики отделочных составов, так как данные материалы имеют относительно большую удельную поверхность (размер частиц наполнителей не должен превышать 150 мкм) [47–50].

При выборе оптимальных размеров частиц наполнителей, особенно используемых для выравнивающих и финишных отделочных составов, необходимо учитывать следующие особенности: склонность частиц к агломерации, которая возрастает с ростом удельной поверхности наполнителей; седиментацию частиц, которая ускоряется с уменьшением удельной поверхности и повышением плотности смесей. В качестве наполнителя может применяться известняковая мука, имеющая некоторые преимущества перед мраморной, доломитовой мукой и мелом (имеет средне-объемный размер частиц равный 15,4 мкм против 8,5 мкм у мраморной муки) [47–51, 55]. На рис. 1.2 и 1.3 приведены зависимости прочностных характеристик затвердевших строительных растворов с карбонатным наполнителем.



Рис. 1.2. Зависимость прочности при изгибе от содержания карбонатного наполнителя

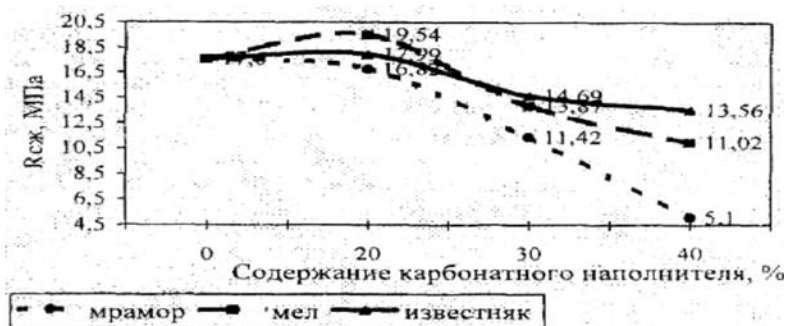


Рис. 1.3. Зависимость прочности при сжатии от содержания карбонатного наполнителя

Наполнители совместно с вяжущими веществами участвуют в формировании микроструктуры материала. При этом изменяются внутренние дефекты – макропоры и капиллярные поры, микротрещины, уменьшается их количество и размеры, снижается концентрация напряжений. При создании отделочных составов для фасадов зданий карбонатные материалы могут быть использованы как заполнители для получения бугристых фактур [18, 19, 22].

Другим материалом, используемым для улучшения технологических свойств сухих смесей на основе гипсовых вяжущих, является гашеная известь, которая способствует возрастанию прочности сцепления с основанием, повышен-

ной водоудерживающей способности и пластичности смеси. Известь строительная гидратная должна соответствовать требованиям ГОСТ 9179 и иметь частицы пережога с размерами зерен не более 50 мкм [14–19].

Вермикулит и перлит

Вспученный вермикулит, используемый для приготовления строительных растворов, получается из природного материала (вермикулита), содержащего кремнезем, оксиды магния и др. элементов, при температурной обработке при 900–1000 °С. Важнейшими особенностями вспученного вермикулита является низкая насыпная плотность и высокие тепло- и звукоизоляционные свойства. Использование вспученного вермикулита в цементном растворе оказывает положительное влияние на коррозионную стойкость и трещиностойкость цементного камня в условиях перекристаллизации новообразований и воздействия агрессивных вод [23, 41, 46].

На основе вермикулита была получена смесь с портландцементом (ПЦ400), которая может быть использована для строительных растворов, у которой предел прочности при сжатии, в зависимости от грансостава вермикулитового песка, составляет от 9,5 до 11 МПа. Введение дополнительного количества гранулированного шлака или золы не дает существенных результатов (7,5...9,5 МПа). Кроме того, были получены штукатурные растворы с плотность 500...600 кг/м³ и прочностью при сжатии 1...1,5 МПа. Слой такого раствора толщиной 20 мм эквивалентен по тепловому сопротивлению кирпичей стене толщиной 150 мм [18, 23]. *Вспученный перлит* представляет собой пористый материал, получаемый из природного кремнеземистого кислого вулканического стекла путем его измельчения и обжига во взвешенном состоянии в шахтных, вращающихся или других печах. Содержание песка во вспучивающемся материале составляет от 36 до 77%. Это связано с тем, что вспученные перлитовые пески не подвергались предварительной тепловой обработке [18].

Вспучивание происходит быстрее и сильнее, если обжигают предварительно нагретую породу, что ускоряет нагрев перлитовых частиц до температуры вспучивания. Предварительная тепловая обработка позволяет уменьшить водопоглощение вспученных песков [22–26] (рис. 1.4).

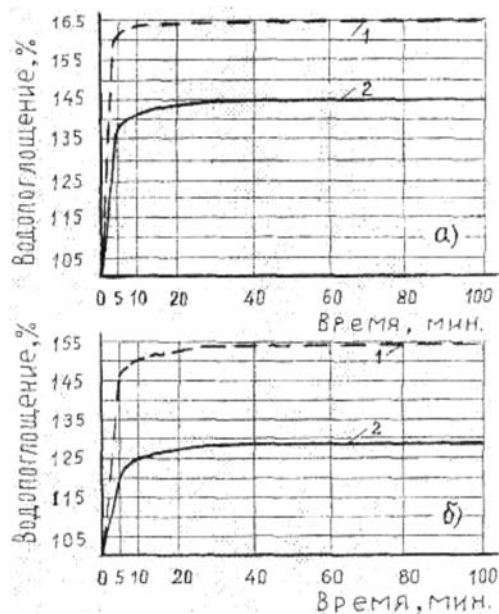


Рис. 1.4. Кинетика водопоглощения вспученного перлитового песка:

а – фракции 2...2,5 мм; б – фракции 1...2 мм: 1 – без предварительной обработки; 2 – с тепловой обработкой

Вспученный перлит малогигроскопичен, химически инертен, биостоек – не имеет запаха, обладает малой теплопроводностью и небольшой средней плотностью. В зависимости от размера частиц вспученный перлит классифицируется на щебень, песок, порошок и пудру. Размеры зерен перлитового песка: мелкого – до 1,2 мм, крупного – от 1,2 до 5 мм [23–26].

Фактически насыпная плотность вспученного перлитового песка (в зависимости от его крупности) составляет 150...300 кг/м³, водопоглощение 80...20%. Вспученный пер-

литовый порошок должен иметь насыпную плотность не более 80 кг/м^3 . Водонасыщение перлитового песка максимально в первые минуты. Это связано с тем, что перлитовые пески имеют значительный объем сообщающихся пор. У перлитового песка, вспученного без предварительной тепловой обработки, водопоглощение нарастает медленно потому, что такой песок содержит большее количество закрытых пор [17, 33–38].

Из вспученного перлита могут быть изготовлены в заводских условиях теплоизоляционные изделия или материалы, а также применяться (в количестве 26 % от общего объема его выпуска) для изготовления теплоизоляционного бетона и штукатурных растворов [9, 12–14, 49].

Пигменты

В сухие декоративные смеси: растворы, бетоны, шпатлевки, краски, для придания им необходимого цвета вводят пигменты. Пигменты – порошкообразные красящие материалы, способные в смеси с жидким связующим образовывать красочные составы и в то же время не растворяться в связующем. От них зависит не только цвет, но и долговечность покрытия. Подобно заполнителю в строительных бетонах и растворах, пигмент уменьшает усадочные деформации пленочного покрытия при ее твердении («высыхании»). Искусственные пигменты с большой красящей способностью разбавляют белым тонкодисперсным наполнителем, что удешевляет красочный состав.

Наполнители: мел, молотый известняк или гипс, тальк, неснижающие атмосферостойкости покрытия. Искусственные минеральные пигменты получают путем термической обработки из минерального сырья. Для получения природных минеральных пигментов производят механическую обработку природных материалов: помол, просев или отмучивание. Пигменты выпускают как в порошкообразном состоянии, так и в виде паст – концентратов, эмульсий и микрокапсул.

Пигменты должны обладать высокой красящей способностью и оказывать слабое влияние на физико-механические свойства смесей. Допускается вводить в смесь не более 15 %

минерального синтетического или природного пигмента и не более 0,5% органических пигментов от массы вяжущего. Кроме того, пигменты не должны содержать вредных компонентов и других примесей (свинец, цинк), способных оказывать влияние на время схватывания и нарастание прочности вяжущего.

С целью достижения нужной насыщенности цвета приходится повышать концентрацию пигмента и смеси, что вызывает ряд нежелательных явлений, например, снижение прочности. Кроме того, снижается экономическая эффективность использования пигментов, нередко дефицитных и дорогих. Таким образом, достижение высокой дисперсности является первоочередной задачей при окрашивании смеси пигментами.

Влияние дисперсности таково: чем тоньше частицы, тем выше укрывистость и красящая способность. Полидисперсный состав пигмента позволяет получить плотное покрытие при минимальном расходе связующего. Поэтому данное свойство пигмента необходимо использовать в тех случаях, когда требуется получение насыщенного тона при введении минимального количества пигментов.

Выбор их для окрашивания смесей определяется свойствами пигментов и материалов, характером их взаимодействия, а также параметрами переработки смеси и условиями эксплуатации изделий, изготовленных из смесей. Пигменты, применяемые в фасадах зданий, должны обладать свето-, водо- и щелочестойкостью. Они могут быть составным компонентом для белых портландцементов. Для серых портландцементов пигменты, как правило, не применяются.

1.3. Модификация сухих строительных смесей полимерными добавками

Полимеры

Впервые было обнаружено, что при введении в минеральные вяжущие вещества некоторых природных органических продуктов они приобретают большую прочность, тогда же дано описание по применению химически синтезированного

полимерного термопластичного латекса для модификации цементных растворов и бетонов.

Водные дисперсии латекса добавлялись на стройках при замесе строительных растворов с водой

Применение в достаточных объемах порошкообразных термопластических полимеров, так называемых дисперсионных порошков, началось в 60-х годах – это продукция зарубежных фирм и предприятий совместного производства.

Поставляемые дисперсионные порошки на основе винилацетата, этилена, винилхлорида, виниллаурата, акрилата и других мономеров с температурой пленкообразования около 0 °С, а также модифицированные силанами порошки для повышенного гидрофобного эффекта.

По своему функциональному действию добавки бывают:

- дисперсионные полимерные порошки;
- водоудерживающие;
- пластифицирующие и гидрофобизирующие;
- замедлители и ускорители схватывания и твердения;
- противоморозные;
- антивспенивающие и загущающие.

Все модифицированные порошкообразные добавки, используемые в производстве сухих смесей, должны быть сухими, хорошо растворимыми в воде и равномерно распределяться в сухих и растворных смесях.

Дисперсионные модифицированные порошки применяются в качестве добавок в сухие смеси, которые в свою очередь используются в клеях, системах теплоизоляции, ремонтных составах, шпатлевках, штукатурках, кладочных растворах, сухих красках, затирках. Оптимальный расход этих добавок составляет от 0,3 до 2 % от массы смеси.

С давних времен известно, что для уменьшения водоотделения, в составе смесей вводились вещества, которые по своей природе были неорганического и органического характера. К первым относятся известь, диатомит, некоторые золы, промышленные шламы и др., которые, по работам ученых, считаются малоэффективными, поэтому на смену им пришли

высокоэффективные добавки нового поколения – это сложные гидратированные эфиры целлюлозы. В зависимости от назначения разработаны различные марки эфиров целлюлозы.

В настоящее время разработана целая гамма отечественных модифицированных добавок на основе метилцеллюлозы. По своим физико-техническим свойствам они не уступают зарубежным аналогам, а по некоторым показателям превосходит их. Средняя дозировка составляет 0,3...0,5% от массы сухой смеси.

Следует отметить, что прочность при сжатии и при изгибе образцов на гипсовом вяжущем с комплексной добавкой на основе отечественной метилцеллюлозы по сравнению с чистыми гипсовыми образцами возрастает на 25% и 45% соответственно. Водоудерживающая способность гипсового вяжущего с разработанной добавкой по сравнению с чистым гипсом повышается на 3,5% и составляет 98%.

Модификация строительных материалов органическими веществами в форме водных дисперсий известна с давних времен. Уже в 1932 году было впервые описано применение химически синтезированного полимерного термопластичного латекса для модификации цементных растворов и бетона. Водные дисперсии добавлялись на стройках при замесе строительных растворов с водой [39–45].

Применение в существенных объемах порошкообразных, термопластичных полимеров, так называемых дисперсионных порошков, началось в 70-х годах. Германский концерн Ваккер-Хеми ГмбХ был первым в мире производителем и поставщиком дисперсионных порошков для промышленности стройматериалов [14].

Ваккер-Хеми располагает очень широким набором мономеров. В соответствии с видом исходных мономеров производимые полимеры Виннапас делятся на группы: полимеры с виниловым эфиром, этиленом, винилхлоридом, акрилатом и другими исходными мономерами. Благодаря низкой температуре стеклования этилена можно в комбинации с винилацетатом производить мягкие и гибкие, но при этом устойчивые против омыления в среде цементных составов, долговечные сополимеры [4, 6–12].

Преимущества модифицированных полимерами сухих смесей по сравнению с растворами, модифицируемыми жидкими дисперсиями:

- значительное повышение производительности труда на стройке;
- более простая транспортировка и обращение;
- исключение опасности замораживания;
- высокий и стабильный уровень качества работ;
- упрощение утилизации тары.

Комбинация дисперсий и порошков с цементом

Самым распространенным вяжущим в строительстве является цемент. Общеизвестны такие свойства цементных продуктов, как высокая прочность при сжатии и хорошая атмосферостойчивость. Недостатками являются низкая прочность при изгибе и растяжении [17, 34, 48].

Цемент отверждается в результате гидратации, при этом расходуется определенная часть использованной для затворения воды. Если имеющегося количества воды не достаточно для гидратации, то цемент теряет по крайней мере часть своих свойств. Это особенно относится к применению в тонких слоях и на маленькой поверхности, например, в случае нанесения известково – цементной краски, шпатлевки, тонкослойного клея и ремонтных замазок. Вода быстро поглощается впитывающей основой или испаряется. Неполностью схватившийся цемент лишь частично работает как вяжущее, что проявляется в повышенной усадке, недостаточной прочности, потере адгезии к основе и излишней чувствительности затвердевшего раствора к влаге [19, 34].

Сухие смеси для плиточного клея

Цементный раствор вообще не склеивается, например, с деревом и ПВХ. Только за счет добавки органических вяжущих становится возможной адгезия цементных растворов к таким основам. Значительно повышается адгезия к бетону и к стали. Плиточные клеи с повышенной деформируемостью способны полностью компенсировать срезающие нагрузки, которые могут появляться между покрытием и основой, например, из-за усадки бетона или из-за различного линейного

расширения основы и покрытия. При использовании немодифицированных плиточных клеев, не способных компенсировать деформации, возникают повреждения облицовки в виде трещин, сколов или даже полностью отваливающейся плитки. Высокая деформируемость клеевых растворов имеет определяющее значение, особенно при облицовке наружных стен. Значительно улучшается и адгезия после многократного замораживания и оттаивания затвердевшего клея [14–18].

Модификация клеевых сухих смесей дисперсионными порошками Виннапас и метилцеллюлозой придает плиточным клеям фиксирующую способность, т.е. плитка при ее наклейке на стену не сползает. Это позволяет плиточникам работать без привычной оснастки [3, 12].

Сухие смеси для ремонта и санирования бетона

Наряду с улучшенной адгезией к стали и старому бетону, ремонтный раствор должен иметь модуль упругости ниже, чем у ремонтируемого старого бетона. Кроме этого, предел прочности на растяжение при изгибе ремонтного раствора должен быть как можно выше. Благодаря модификации модуль упругости ремонтного раствора снижается с увеличением дозировки полимеров, а предел прочности на растяжение при изгибе отчетливо повышается. Многие из применяемых в строительстве смесей для сухого торкретирования модифицированы дисперсионными порошками Виннапас. Даже когда сухая смесь затворяется водой буквально в считанные доли секунды непосредственно перед соплом, происходит очень быстрое и практически полное редиспергирование дисперсионных порошков Виннапас [1–5, 8–11, 14].

Положительный эффект модификации полимерами в форме дисперсий и дисперсионных порошков проявляется также в том, что значительно уменьшается проникновение хлоридов и углекислоты, поэтому находящаяся в отремонтированном бетоне арматура лучше защищена от коррозии [14–19].

Смеси для саморастекающихся наливных полов

Модификация сухих смесей полимерами очень важна для наливных полов. В напольных стяжках и саморастекающихся

полах, наряду с улучшением адгезии к основе и повышением гибкости, в значительной степени улучшаются также износостойкость, вязкость и, тем самым, долговечность [15–17].

Кроме этого, благодаря правильной комбинации дисперсий и дисперсионных порошков Виннапас с разжижителями и другими добавками, можно достичь значительно лучшей растекаемости и глянцевой поверхности таких масс [14, 15, 17].

Минеральные штукатурки и системы полной теплоизоляции

Для модификации минеральных штукатурок имеются специальные дисперсионные порошки Виннапас, которые придают растворам сильно гидрофобный (водоотталкивающий) характер. Во всех видах минеральных штукатурок и в теплоизолирующих штукатурках модификация дисперсионными порошками Виннапас гидрофобного действия обеспечивает целый ряд преимуществ, например, улучшенную технологичность переработки, повышенную вязкость, лучшую адгезию, повышенную гибкость, уменьшенное водопоглощение и водоотталкивающий эффект. Благодаря меньшей потребности в воде для затворения штукатурки достигается, наряду с повышенной долговечностью, также и пониженная склонность к высолам и загрязнению [3, 35–37, 40].

Длительные испытания образцов на полигонах показывают, что такой эффект пониженного водопоглощения на практике сохраняется десятилетиями. Принципиальное улучшение свойств всех сухих строительных смесей благодаря их модификации полимерными дисперсными порошками, Виннапас сочетается с улучшенной технологичностью переработки. Так, например, растворы по своей консистенции становятся значительно пластичнее, менее склонными к сворачиванию и намного лучше наносимыми [12, 14, 35–37].

Гипсодержащие строительные материалы

В зависимости от состава, свойств и возможного применения различают следующие основные сорта гипсов [4–6, 32, 41]:

– отделочный гипс тонкоизмельченный, отличается средним временем начала отверждения и относительно коротким временем отверждения;

– штукатурный гипс (смешанный и многофазный гипс, содержит небольшое количество дигидрата, около 30 % полу-гидрата, около 20 % ангидрита III и около 50 % ангидрита II); относительно раннее начало и длительное время отверждения, т.е. длительное время переработки;

– формочный гипс, производимый по автоклавной технологии, обладает высокой прочностью, малым расходом и небольшой способностью деформироваться;

– строительные гипсы состоят из смесей отделочных и штукатурных гипсов, к которым добавлены вспомогательные вещества;

– гипсовые и ангидритовые стяжки (тонкоизмельченный ангидрит с песком и инициатором схватывания) для полов; их можно изготавливать саморастекающимися. Ангидритовые стяжки благодаря отсутствию усадки можно наносить толстыми слоями на большие поверхности.

Многообразное применение гипсовых продуктов в строительстве объясняется целым рядом их преимуществ [23, 32, 49]:

– хорошая прочность и твердость (в сухом состоянии);
– время схватывания можно в широком диапазоне отрегулировать путем смешения сортов гипса со вспомогательными добавками;

– относительно низкая теплопроводность;
– малая звукопроводность;
– высокая паропроницаемость;
– короткое время схватывания и высыхания;
– высокая стойкость против климатических воздействий (в сухом состоянии);

– хорошая химическая стойкость, высокая огнестойкость;
– надежное и простое применение за счет возможности изготавливать гипсовые сухие смеси;

– широко распространенный и недорогой строительный материал.

Главным недостатком гипсосодержащих строительных материалов является чувствительность к воде, обусловленную относительно высокой растворимостью гипса. Уже небольшое повышение влажности гипсовых продуктов ведет к существенной потере прочности. Поэтому гипсовые продукты не применяются для наружных работ [18, 32, 40].

Добавка дисперсионного порошка в гипсопесчаный раствор дает ярко выраженное улучшение свойств, из них прежде всего следует назвать улучшение технологичности переработки. Уже с 2% дисперсионного порошка Виннапас RI 551 Z прочность на растяжение при изгибе возрастает более чем на 50%, а деформируемость – многократно [3, 14–17, 57].

Модифицированные дисперсионными порошками гипсопесчаные растворы отличаются от немодифицированных отчетливым улучшением адгезии как к органическим, так и к неорганическим основам. Применение дисперсионных порошков Виннапас в гипсопесчаных растворах приводит лишь к незначительному замедлению схватывания. Скорость капиллярного водопоглощения несколько понижается, однако значительного уменьшения водопоглощения в целом не происходит, хотя и отмечается существенное улучшение водостойкости [3, 6, 14–17, 57].

Кроме того, добавка дисперсионных порошков Виннапас улучшает свойства гипсоизвестковых систем, которые преимущественно применяются как штукатурки для стен. У данных материалов улучшаются технологические свойства, а также повышается прочность на растяжение при изгибе и деформируемость. Количество вводимого дисперсионного порошка при этом должно быть более 2%, чтобы достичь оптимальных свойств продуктов. Добавка дисперсионного порошка Виннапас RI 551 Z резко снижает водопоглощение. Этот эффект отчетливо выражен при вводе 2% RI 551 Z, большие дозировки снижают водопоглощение еще в большей степени. Дисперсионный порошок Виннапас RI 551 Z позволяет изготавливать гипсоизвестковые штукатурки даже для наружных работ, благодаря его сильному и долгосрочному гидрофобному действию [35–37, 54–58].

Гидрофобное действие дисперсионного порошка основывается не в результате использования гидрофобизирующих добавок к полимеру. Этот эффект достигается при синтезе полимера, поэтому при щелочном активировании отмечается надежное и равномерное водоотталкивающее действие. При необходимости можно применять модификации этого порошка, обладающие дополнительными полезными свойствами: антивспенивающими, тиксотропными, водоудерживающими, воздухововлекающими и т.д. [3, 6–12, 57–60].

1.4. Факторы, влияющие на структуру и прочность материалов из сухих строительных смесей

При использовании различных смесей представляется необходимым изучение свойств и особенностей цементно-минеральной матрицы, изменения структуры цементного камня в присутствии различных добавок и заполнителей [43–47, 51–55].

Процесс формирования структуры и свойств строительных материалов на основе сухих смесей несколько отличается от структурообразования минеральных бетонов с крупным заполнителем. Особенности структуры строительных растворов, полученных из сухих строительных смесей с добавками во многом определяются степенью воздействия [40–45]. Активность добавок обуславливается природой материалов, способом подготовки их поверхности и условиями, при которых протекает процесс структурообразования, т.е. технологией производства того или иного материала [43–49, 54–60].

Важным фактором для всех видов материалов является измельчение исходного сырья. При этом для каждого вида материала используется свой набор компонентов, получаемых разными способами с различной степенью измельчения исходного сырья [41, 44, 49–56].

Для создания композиционных материалов большое значение приобретает анализ явлений, протекающих на межфазной границе раздела наполнитель – вяжущее. Усилению физико-химической активности поверхности частиц этого типа способствуют и физико-химические изменения наполнителя и добавок

под действием высокой температуры и процесса помола, выражающиеся в частичной активации некоторой части частиц [58–65]. Наиболее распространенный способ получения материалов с добавкой наполнителей волокнистой структуры – способ контактного омоноличивания. В его основе лежат общие принципы склеивания двух контактирующих поверхностей тонким слоем адгезива. При этом необходимо стремиться к уменьшению толщины клеевого шва, равномерному распределению связующего по поверхности волокон [71–73].

При стабилизации связи между частицами материал достигает оптимальной структуры и, вследствие этого, устойчивости и способности сопротивляться внешним воздействиям [77–84]. С повышением содержания органического наполнителя в матрице развивается два альтернативных процесса [79–85, 87–89]. С одной стороны, протекает процесс упрочнения материала за счет введения в матрицу дисперсных частиц. Матричный материал переходит в контактное пространство из объемного состояния в пленочное с высокой прочностью и направленностью структуры. С другой стороны, в материале проявляется процесс разупрочнения, связанный с повышением содержания наполнителя в композите [67, 85].

Долговечность мелкозернистого бетона или строительного раствора зависит от многочисленных факторов, которых выделяют более ста [54]. Морозостойкость бетона четко коррелирует с характеристиками его пористости. К числу факторов, в наибольшей степени снижающих долговечность бетона, относят преждевременное его высыхание, приводящее к недостаточной гидратации цемента, и перепады температур, вызывающие появление трещин [55–57]. Попеременное увлажнение и высушивание также приводит к возникновению напряжений, способствующих деструкции бетона [58].

С точки зрения долговечности более высокими показателями обладает бетон, твердеющий при нормальных условиях. Ниже долговечность у пропаренного гидрофобизированного бетона, твердеющего на воздухе. Еще меньше долговечность у пропаренного не пластифицированного бетона [60].

Исследование распространения трещин в бетоне показало, что при небольших водоцементных отношениях (0,55–0,70) микротрещины имеют межкристаллитный характер и проходят по зернам C_3S в цементном камне [58, 61, 65]. При водоцементном отношении, составляющем от 0,73 до 0,90, увеличивается пористость цементного камня и количество послойно расположенных в нем кристаллов $Ca(OH)_2$. Микротрещины в этом случае имеют транскристаллитный характер и проходят через зерна портландита, а также через капиллярные и структурные поры или вдоль крупных микротрещин на границе заполнитель – цементный камень [61]. Зерна крупного заполнителя создают препятствия развитию трещин и вызывают их разветвление [62, 66–68].

Прочность сцепления цементного камня с заполнителем зависит от типа цемента и вида заполнителя. Наименьшая прочность сцепления отмечена в случае базальтового заполнителя, наибольшая – при использовании низкоалюминатного сульфатостойкого цемента [71, 79]. Сама по себе интенсивность межфазного сцепления, вероятно, не оказывает решающего влияния на свойства бетона [69], однако, механизм разрушения изменяется в зависимости от состава композиций и структуры межфазных зон. Разрушение бетона обычно происходит по границе между слоем цементного камня, прилегающим к поверхности заполнителя, и соседними слоями, содержащими большое количество портландита и этtringита. Если портландцемент содержит добавку тонкодисперсного кремнезема, разрушение происходит по цементному камню, если же заполнитель базальтовый, то разрушение распространяется по его поверхности [34, 36, 75].

Контактная прочность сцепления цементного камня с заполнителем ослабевает вследствие повышения водоцементного отношения [35].

Увеличение прочности сцепления заполнителя с цементным камнем может быть достигнуто путем добавления в воду затворения поверхностно-активных веществ с высокой смачивающей способностью, таких как анионная добавка – до-

децилбензолсульфонат натрия или неионная добавка – аддукт нонилфенолэтиленоксид [37].

Прочность сцепления заполнителя с цементным камнем возрастает также в случае покрытия поверхности заполнителя композицией, содержащей в основном жидкое стекло. Вследствие протекания реакции между ним и $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующимися при гидратации цемента, прочность сцепления заполнитель – цементный камень возрастает [33, 41, 71].

Прочность сцепления с заполнителем цементного камня из обычного портландцемента больше, чем с камнем из шлакопортландцемента, а прочность сцепления с известняком выше, чем с кварцем [76, 78–86].

В работе [101] исследовано методом сканирующей электронной микроскопии распределение пор и степень гидратации цемента в контактном слое между цементным камнем и заполнителем бетона, изготовленного из смеси состава портландцемент: песок: гранитный щебень = 1: 1,3: 2,7 при $\text{В/Ц}=0,4$. Количество негидратированных частиц цемента в контактной зоне невелико и линейно увеличивается при удалении от поверхности заполнителя на расстояние от 1 до 30 мкм. При этом пористость цементного камня уменьшается от 18–20 до 8–10 %. Такое распределение связывают с адсорбцией воды на поверхности сухого заполнителя [97–104].

Введение в цемент 15 % кремнеземистой пыли, содержащей 97 % SiO_2 , приводит к уменьшению прочности сцепления между цементным камнем и заполнителем [32], однако прочность цементного раствора в целом увеличивается вследствие повышения прочности самого цементного камня.

Различие в структуре и составе контактной зоны и затвердевшего цементного теста могут быть связаны с присутствием в первом случае кремнеземистой пыли вследствие интенсивного перемешивания компонентов бетонной смеси [33]. Если в цемент вводится добавка кремнеземистой пыли, то контактная зона не содержит этtringита и портландита. С заполнителем (гравием) в этом случае контактирует непосредственно гель C-S-H [34].

Введение в цемент шлака уменьшает пористость контактной зоны на 5–10 % [35]. Более высокая прочность бетона при использовании в качестве заполнителя известняка, а также в случае применения расширяющегося цемента или введения минеральных добавок, например кремнеземистой пыли, связана с большей однородностью контактной зоны, меньшей склонностью ее к трещинообразованию [36, 37]. При этом в контактной зоне содержится меньшее количество портландита, а его кристаллы менее ориентированы [36].

Введение в состав бетонных смесей инертных добавок в количестве до 10 % при В/Ц $\geq 0,4$ практически не влияет на микроструктуру контактной зоны, кроме смесей с повышенным водоотделением. Использование пуццолановых добавок способствует снижению капиллярной пористости контактной зоны вследствие резкого уменьшения объемного содержания портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [38]. Однако полностью эта пористость не исключается. Увеличение содержания CSH вблизи от поверхности заполнителя положительно влияет на свойства контактной зоны, поэтому введение небольшого количества таких добавок, как кремнеземистая пыль положительно влияет на прочность бетона [38].

Контактная зона между цементным камнем и легким высокопрочным заполнителем с плотным оплавленным внешним слоем имеет такую же структуру, что и в случае тяжелого заполнителя, например гранита. При этом пористость контактной зоны несколько больше, чем у основной массы цементного камня вследствие присутствия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и этtringита. Если же заполнитель имеет неплотное пористое наружное покрытие, то контактная зона отличается повышенной плотностью и однородностью. В этом случае обеспечивается прочное механическое сцепление между заполнителем и цементным камнем, что обуславливает повышение прочности бетона [33–39].

При использовании в качестве заполнителя дробленого мрамора его зерна оказывают модифицирующее влияние на морфологию и взаимное расположение кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне [34, 62]. Около зерен заполнителя наблю-

дается дезориентация в расположении кристаллов гидроксида кальция, что затрудняет развитие трещин. По-видимому, параметры прочности и трещиностойкости оптимальны при содержании $\text{Ca}(\text{OH})_2$, составляющем около 2% от массы цементного камня [34, 62]. Качество и долговечность бетона в значительной степени зависят от гранулометрического состава заполнителей [64]. В случае плохого их зернового состава неблагоприятные условия твердения в значительной степени ускоряют карбонизацию и снижают долговечность бетона.

Напряженное состояние, возникающее в процессе структурообразования, не ограничивается только действием усадочных напряжений клеевой прослойки вяжущего и заполнителя, но и зависит от типа вяжущего, влажности и упругого действия наполнителя [88–90]. При использовании материалов волокнистого строения, также как и в других материалах, структура является одним из важных факторов, влияющих на величину коэффициента теплопроводности, которая зависит от размера волокон (их сечение), величины воздушной прослойки между волокнами и концентрации волокон и прослоек в единице объема материала [88].

Для обеспечения высоких теплотехнических свойств на основе грубоволокнистого наполнителя необходимо получение изделий с мелкими порами, т.к. основным фактором, определяющим теплопроводность, является пористость материала. Теплопроводность пористых материалов при неизменном составе твердой фазы зависит от объема пор, их вида и характеристик пористой структуры. Мелкопористые материалы хуже проводят теплоту, чем крупнопористые, в связи с уменьшением передачи тепла за счет конвекции и излучения [88, 92, 105].

Анализ литературы и обследование условий эксплуатации, каменных, легкогобетонных и железобетонных конструкций и частей зданий показывают низкую сопротивляемость строительных растворов к воздействию температурных перепадов, недостаточную адгезию между стеновыми изделиями и соединяемым составом, большое различие в коэффициентах

линейного температурного расширения. Это приводит к снижению эффективности использования строительных материалов и повышенным издержкам на ремонт и восстановление. Кладочные, монтажные и защитные покрытия на основе модифицированных сухих строительных смесей при совмещении с минеральными и органическими добавками направленного действия могут обладать высокой эксплуатационной способностью.

На основе анализа литературных данных определена цель исследования: разработка составов, технологии и исследование структуры и свойств сухих строительных смесей с армирующими волокнистыми техногенными дисперсными добавками и полимерными компонентами для повышения их эксплуатационных характеристик при использовании в строительстве и ремонте зданий и сооружений.

Для достижения основной цели необходимо решить следующие задачи.

Изучить свойства исходных материалов для сухих строительных смесей и определить рациональные их сочетания при производстве строительных работ.

Произвести анализ и определить качественный состав существующих различных компонентов и отходов производства для рационального использования при введении в качестве добавок в сухие строительные смеси и получении материалов с заданными эксплуатационными свойствами.

Установить закономерности влияния вида и количества вводимых добавок, состава и способов их введения на прочностные, адгезионные, теплофизические и прочие эксплуатационные показатели строительных растворов из сухих строительных смесей, долговечность и эксплуатационную надежность.

Разработать оптимальные составы, режимы и технологию введения органоминеральных добавок, обеспечивающих гарантированные показатели прочности и долговечности строительных растворов из сухих строительных смесей для получения материалов с повышенной трещиностойкостью,

прочностью, адгезионной способностью и теплотехническими свойствами.

На основе физико-химических исследований в системе: «цемент – гипс – песок – органоминеральные добавки» дать прогнозную оценку качественных и количественных характеристик строительных растворов из сухих строительных смесей для выработки научно обоснованных рецептур и технологических режимов производства работ по комплексному улучшению материалов.

Разработать технологический регламент производства работ и необходимую техническую документацию по производству работ со строительными растворами из сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного вида; осуществить опытно-производственное внедрение результатов исследований и дать технико-экономическую оценку выполненной работы.

Гипс

В работе использован строительный гипс марок Г3 и Г4, имеющий соответственно прочность при сжатии стандартных образцов 3 и 4 МПа, а прочность при изгибе – 1,5–2,0 МПа (табл. 2.2). По тонкости помола (по остатку на сите 02) гипс строительный относится к среднему помолу, т.к. эта величина составляет до 14 %. Сроки схватывания гипса, определенные по стандартной методике, следующие: начало схватывания не ранее 600 с, а конец схватывания – не позднее 1800 с, что позволяет отнести данное минеральное вяжущее вещество к нормальнотвердеющему.

Таблица 2.2

Технические свойства гипса

Марка гипса	Тонкость помола по остатку на сите № 02, %	Нормальная густота, %	Предел прочности, МПа	
			при сжатии	при изгибе
Г-4	10,0	54	4,3–4,8	1,9–2,3
Г-35	12,0	56	3,9–4,2	1,4–2,0

Использование гипса строительного при производстве сухих строительных смесей способствует улучшению технологических и некоторых эксплуатационных свойств. Однако для повышения качества требуются специальные добавки направленного действия, улучшающие адгезию и гидрофобных характеристики затвердевших растворов. Химический состав строительного гипса указан табл. 2.3.

Альтернативное минеральное вяжущее представлено кальцевой известью, негашеной, комовой, третьего сорта, медленногасящейся производства ТД «Искитимцементстрой» без добавок с насыпной плотностью 930 кг/м³ и средней удельной поверхностью 3553 см²/г.

2.1.2. Минеральные заполнители

Используемые в работе речные кварцевые пески Обского месторождения и карьера «Криводановский» Новосибирской области соответствуют требованиям ГОСТ 8736–93 «Песок для

Таблица 2.3

Химический состав минеральных компонентов сухих строительных смесей

№ п/п	Материал	Содержание оксидов, % мас.										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	FeO	TiO ₂	ПП.П.
1	Цемент	24,31	8,34	3,46	56,28	1,57	1,53	0,82	0,15	0,07	0,01	0,59
2	Гипс	3,10	0,87	1,44	32,62	1,67	46,51	0,41	0,82	0,11	-	6,34
3	Дегидрол	34,74	9,87	3,05	46,43	1,24	1,01	0,49	0,05	0,34	0,01	2,62
4	Отходы АЦП	14,20	2,95	2,38	38,11	2,92	6,19	2,41	0,78	0,17	0,27	31,06
5	Песок речной	79,88	12,62	1,39	1,97	0,75	0,27	-	-	0,03	0,02	2,27
6	Песок шлаковый	54,99	24,02	5,89	4,75	1,28	0,49	0,94	0,71	4,93	0,10	6,61
7	Песок керамзитовый	69,32	20,73	6,83	1,09	0,88	0,03	-	-	-	-	0,30
8	Песок вольский	98,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,83

Таблица 2.4

Зерновой состав песков

Наименование песка	Остатки на ситах, %						Модуль, круп- ности, М _к
	0,5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	<0,14
Обской	2,0–2,5	1,5–4,0	4,0–5,0	13,5–14,5	47,0–52,0	29,0–31,0	2,5–3,5
Криводановский	0,1–3,5	0,2–8,0	0,2–5,0	1,9–2,0	21,5–46,5	17,5–65,4	4,5–22,5
Шлаковый	3,1–3,5	4,1–5,5	6,9–12,7	19,8–22,4	34,8–42,1	12,1–14,2	1,5–1,8
Керамзитовый	2,7–3,4	6,8–7,3	16,2–18,4	23,3–28,0	38,5–40,6	10,4–16,2	2,8–4,5
							2,7–3,2

строительных работ. Технические условия» и ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» и относятся к мелким пескам. Химический состав речных песков представлен в табл. 2.1, а в табл. 2.4 приведен их зерновой состав. Испытание физико-технических свойств данных песков проведено в полном объеме в соответствии с требованиями ГОСТ 8736–93. Кроме того, определено содержание илистых и глинистых включений. По внешнему виду пески мелкозернистые светло-серого цвета со слабым желтовато-бурым оттенком. Все зерна песка, в т. ч. кварца и полевого шпата, имеют достаточно хорошо окатанную поверхность и несут на себе незначительное количество частиц глины и ила. Испытание на наличие органических включений показало, что данные пески вполне пригодны для применения в строительных растворах. Пески отнесены к очень мелким пескам с модулем крупности 0,9–1,1. Кроме речного песка в качестве эталона при определении активности цемента и некоторых составов был использован эталонный чистый кварцевый песок Вольского месторождения.

Для некоторых составов сухих строительных смесей были использованы пески, полученные путем дробления топливных шлаков. Исходным сырьем служили золошлако-

вые отвалы, представляющие собой дисперсные материалы в виде разнопрочных гранул и кусков различной величины и формы. В работе использовались золошлаковые смеси, образованные от сжигания углей марок Д (длиннопламенный) и Г (газовый) на ТЭЦ и котельных г. Новосибирска и Новосибирской области.

Свойства материала как заполнителя для сухих строительных смесей зависят от качества сжигаемого угля и технологического процесса его сгорания. В работе использованы шлаки, образуемые при сжигании углей Томь-Усинских угольных бассейнов на ТЭЦ и в котельных г. Новосибирска и Новосибирской области. Топливные золы и шлаки в отвалах неоднородны по своему химическому, минералогическому и гранулометрическому составу. Испытания золошлаковых смесей проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 25592–91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия» и показали следующие результаты:

содержание шлака по массе	11,3–19,7 %;
содержание зерен золы и шлака, проходящих через сито № 0,315	65,8–823 %;
содержание зерен размером более 5 мм	13,1–17,9 %;
максимальный размер зерен шлака	19–24 мм;
влажность	14,3–19,5 %;
плотность насыпная	795–850 кг/м ³ ;
зерновой состав	3,78–4,32, мм;
потеря массы при прокаливании	8,7–15,1 %.

Химический анализ зол и шлаков, проведенный по ГОСТ 5383–83, представлен в% по массе в таблице 2.1. Ввиду низкого содержания оксида кальция, применяемые золошлаковые смеси и шлак относятся к неактивным инертным заполнителям согласно существующей классификации. Характерной особенностью золошлаковых смесей является их неоднородность по размерам частиц, конфигурации, цвету и структуре. Преимущественно преобладают шарообразные частицы. Цвет частиц изменяется от светлого до черного с металлическим блеском.

Керамзитовый песок получался дроблением и использовался для сравнительной оценки теплофизических характеристик исследуемых растворов из сухих строительных смесей.

2.1.3. Минеральные добавки

Отходы асбестоцементного производства (ОАЦП)

Для дисперсного армирования грунтобетона использовались сопутствующие производству асбестоцементных изделий на заводе г. Искитим Новосибирской области отходы асбестоцементного производства, представляющие собой крупнотоннажный шлам (отход) из гидратированного цемента на волокнах асбеста диаметром 0,02–0,08 мм и длиной 2–6 мм. Суточный объем вывоза отходов составляет более 40–50 т, а годовой объем превышает 15 тысяч тонн.

Шлам находится в рыхлом состоянии и содержит агрегированные или дисперсные частицы асбестоцемента с наличием до 50–60% гидратированного портландцемента марки 400 производства ООО «Искитимцемент». Содержащийся в шламе хризотил-асбест представлен волокнами длиной от 1 до 6 мм и диаметром 0,02–0,8 мкм. По химическому составу хризотил-асбест представляет собой гидросиликат магния, который может быть выражен формулой $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Химический состав отходов АЦП представлен в табл. 2.1.

Дегидрол

Дегидрол представляет собой материал проникающего действия для гидроизоляции бетона и затвердевших цементных строительных растворов; используется в качестве гидроизолирующей добавки в бетонные и цементные строительные растворы и смеси (табл. 2.1). **Принцип работы дегидрола состоит** в том, что минеральная пористая структура существующих или вновь образующихся на стадии твердения бетона поверхностей перекрывается продуктами взаимодействия колюматизирующих добавок дегидрола.

В наших исследованиях использовался дегидрол марки 7 «Эластичный шовный гидроизолирующий», позволяющий

осуществлять ремонт и гидроизоляцию швов, трещин и омоноличивание поверхности бетонных и каменных материалов различной пористости, подверженных температурным и иным циклическим деформациям, а также в качестве ремонтно-гидроизолирующего раствора при гидроизоляции стыков бетон-металл, бетон-пластик, бетон-стекло. Как материал, имеющий уплотняющее и проникающее действие, дегидрол используется для гидроизоляции конструкций и изделий из бетона, камня, кирпича, подвергающихся постоянному или периодическому воздействию воды, а также мало- и средне агрессивных жидкостей, включая нефтепродукты, растворы солей и др. Кроме того, состав дегидрола способствует глубокому проникновению в глубь бетонных и каменных материалов, что способствует повышению адгезии кладочных и штукатурных растворов смесей с основанием. Проникая по капиллярам в тело бетона на 50–150 мм, он обеспечивает получение прочной защитной или сцепляющей прослойки, которая создает условия для формирования единой монолитной ограждающей или несущей конструкции. При этом существенно увеличивается срок службы получаемого слоя и создаются условия для повышения долговечности всего объекта. Использование дегидрола в строительных растворах для кладки стен жилых и общественных зданий регламентируется требованиями п. 5.20 СП 82–101–98. Он не способен гореть и не поддерживает горения, не выделяет токсичных продуктов (в т. ч. при попадании в очаг возгорания), радиационно-, химически- и взрывобезопасен; относится к негорючим материалам, на него не распространяются требования ГОСТ 19433–88; экологически безопасен, состоит из минеральных продуктов природного происхождения и не содержит ингредиентов опасных для окружающей среды; отходы утилизируются как бетонный строительный мусор.

2.1.4. Гидрофобизирующие и полимерные добавки

В качестве гидрофобизатора и модификатора цементно-песчаных смесей использовались различные водорастворимые полимеры и гидрофобизирующие добавки, способ-

ствующие приобретению большей прочности и химической устойчивости. В настоящее время выпускаются десятки различных синтетических полимерных порошков на основе латекса, ПВА, акриловых и других смол. Модификация цементных растворов и бетонов водными дисперсиями полимеров может осуществляться в условиях строительных площадок при замесе строительных растворов с водой. Применение в достаточных объемах порошкообразных термопластических полимеров, так называемых дисперсионных порошков, началось в 60-х годах – это продукция зарубежных фирм и предприятий совместного производства.

Поставляемые дисперсионные порошки на основе винилацетата, этилена, винилхлорида, виниллаурата, акрилата и других веществ с температурой пленкообразования около 0 °С, а также модифицированные силанами порошки используют для повышения гидрофобного эффекта. По своему функциональному действию добавки бывают:

- дисперсионные полимерные порошки;
- водоудерживающие;
- пластифицирующие и гидрофобизирующие;
- замедлители и ускорители схватывания и твердения;
- противоморозные;
- антивспенивающие и загущающие.

Все модифицированные порошкообразные добавки, используемые в производстве сухих смесей, должны быть сухими, хорошо растворимыми в воде и равномерно распределяться в сухих и растворных смесях.

Дисперсионные модифицированные порошки применяются в качестве добавок в сухие смеси, которые в свою очередь используются в клеях, системах теплоизоляции, ремонтных составах, шпатлевках, штукатурках, кладочных растворах, сухих красках, затирках. Оптимальный расход этих добавок составляет от 0,3 до 2 % от массы смеси.

Для уменьшения водоотделения, в состав смесей вводятся вещества, которые по своей природе являются неорганическими и органическими. К первым относятся известь, диатомит,

некоторые золы, промышленные шламы и др., которые являются малоэффективными, поэтому на смену им пришли высокоэффективные добавки нового поколения – сложные гидратированные эфиры целлюлозы. В зависимости от назначения разработаны различные марки эфиров целлюлозы.

В НГАСУ разработана отечественная модифицированная добавка метил- целлюлозы, на которую получен патент. По своим физико-техническим свойствам она не уступает зарубежным аналогам, а по некоторым показателям превосходит их. Средняя дозировка составляет 0,3...0,5 % от массы сухой смеси.

Акриловые смолы широко применяются в качестве клеевых композиций и основы для эмульсионных красок и грунтов. Акриловые дисперсии придают водонепроницаемость бетону и строительным растворам, их также используют для пропитки пористых строительных материалов. Акриловые композиции обладают достаточно хорошей проницаемостью, что способствует повышению качественных характеристик пропитываемых материалов. В отличие от эпоксидных смол акриловые клеевые композиции менее дефицитны и имеют более низкую стоимость.

Редиспергируемый полимерный порошок белого цвета (аквапас № 2028) представляет собой сополимер винилацетата $[-CH_2CH(OCOCH_3)-]_n$ и этилена с различными добавками направленного действия: корректирующего, пластифицирующего, антисептирующего, противоморозного, стабилизирующего и прочего. Винилацетат с этиленом (ВАЭ) хорошо растворим в воде, устойчив к старению в атмосфере. Порошок ВАЭ имеет насыпную плотность 350–550 кг/м³, температуру стеклования +16 °С, зольность 8–12 %. Содержание сухого вещества – частиц клея не менее 98 %. Порошковая клеевая композиция ВАЭ (аквапас № 2028) обладает повышенной адгезией к различным материалам, в т. ч. к природным и искусственным каменным материалам, бетону, керамическим и силикатным изделиям. В качестве ограничений использования данной композиции можно назвать температуру пленкообразования, которая обязательно должна быть положительной, не ниже +4 °С.

Следует отметить, что прочность при сжатии и при изгибе образцов на минеральных вяжущих с комплексными добавками на основе отечественных композиций по сравнению с образцами без добавок выше на 25–35%. Водоудерживающая способность вяжущего с добавками повышается на 3–5% и составляет 98–99%.

2.1.5. Стеновые материалы, как объекты применения строительных растворов из сухих смесей

Кирпич глиняный обыкновенный является наиболее широко распространенным видом материала в стенах исследуемых зданий, для которых проводились работы по устройству навесных фасадных систем. В большинстве случаев кирпич был пластического прессования с начальной маркой 75 и реже – 100. По цветовой окраске, геометрическим размерам и внешнему виду керамический материал соответствовал действующим требованиям; однако степень увлажнения в некоторых случаях достигала 18–20%, а прочность кирпича при испытании на сжатие не превышала 20–50% от первоначальной марочной прочности. Плотность высушенных образцов кирпича варьировала от 1300 кг/м³ до 1740 кг/м³. Пористость стенового керамического материала составляла от 11 до 16%.

Силикатный кирпич. Как правило, данный кирпич применяется в качестве облицовки каменных стен из глиняного обожженного кирпича. В наших исследованиях встречались два вида силикатных облицовочных материалов, отличающиеся только лишь размерами: одинарный – 250х120х65 мм и модульный – 250х120х138 (88) мм с начальной маркой 75 и 100. Кроме того, некоторые объекты были облицованы силикатной плиткой размерами 250х250 мм. Плотность силикатных стеновых материалов составляла 1640–1820 кг/м³. Остаточная прочность при испытании на сжатие варьировала от 1,9 до 3,7 МПа. Пористость образцов стеновых материалов, определенная по водопоглощению, составляла 7–15%.

Шлакоблочные стены. Стены из шлакобетонных блоков, использованных для возведения исследуемых зданий, выпол-

нялись в различное время, преимущественно от 20 до 50 лет назад. Размеры шлакоблоков в основном соответствовали общепринятым и составляли 390х190х188 мм. Начальная проектируемая марка шлакоблоков составляла от 2,5 до 5,0 МПа. Средняя остаточная прочность при сжатии по нашим испытаниям составляла от 1,5 до 2,5 МПа, но были образцы материала с пределом прочности значительно ниже этих показателей. Влажность стеновых шлакобетонных блоков составляла от 6 до 18%, но для некоторых образцов, стены которых были расположены ниже уровня грунта, влажность превышала эти значения. Пористость шлакобетонных блоков варьировала от 12 до 36%.

Легкий бетон. Стены из легкого бетона выполнялись преимущественно трех типов: керамзитобетонные, аглопоритобетонные и из газобетона. Начальные показатели плотности, прочности и пористости варьировали в широких пределах от 1,5 до 7,5 МПа. Остаточная прочность при испытании на сжатие также имела широкий разброс показателей, от 0,5 до 2,5 МПа. Пористость доходила до 73% для газобетона и до 45–50% для аглопоритобетона и керамзитобетона. Влажность исследуемых образцов стеновых материалов составляла от 8 до 27% в зависимости от вида защиты фасада. При этом, большие значения имели место в случае отделки стен фасадной плиткой, а меньшие – при отделке штукатурным раствором.

Тяжелый бетон и железобетон. Железобетонные конструкции чаще всего изготавливаются из тяжелого бетона. Железобетон представляет собой материал, в котором объединены вместе бетон и стальная арматура, располагаемая в растянутой зоне конструкции и воспринимающая растягивающие напряжения. Основной массив из бетона воспринимает сжимающие напряжения. Соединение бетона и стальной арматуры обеспечивает высокую прочность при сжатии, растяжении и изгибе, поэтому железобетонные конструкции характеризуются надежной работой в широком интервале температур – от –3- до +80 °С. Железобетонные конструкции подразделяют на монолитные, бетонируемые на месте; сборные, изготовленные

в заводских условиях и монтируемые на строительной площадке; и сборно-монолитные или комбинированные с использованием двух методов. Средняя плотность тяжелого бетона составляет 2400–2700 кг/м³. Пористость цементного камня в зависимости от степени уплотнения составляет 1–2%. Общая пористость тяжелого бетона в большей степени зависит от вида и качества заполнителя, правильности подбора компонентов, водоцементного отношения и может достигать 10–15% в основном за счет испарившейся воды, необходимой на гидратацию цемента и для обеспечения заданной степени подвижности бетонной смеси, определяемой видом бетонированной конструкции. При этом различают: ультрамикropоры или капиллярные поры, имеющие промежутки близкие к размерам молекул, полученные в результате испарения воды (размером до 5 нм); контракционные, образованные из-за уменьшения абсолютного объема цементно-водной системы (размером от 5 до 100 нм); и макropоры, представляющие собой поры, в которых основное количество воды является свободным (радиусом более 100 нм). Следует отметить, что зона проницаемости цементного камня для воды составляет величину $r = 500 \cdot 10^{-9}$ м или 500 нм, поэтому для создания водонепроницаемых слоев из цементных растворов и бетонов следует максимально снижать макropористость всей системы, стремясь к переводу её в ультрамикropористое состояние.

2.2. Методика изготовления образцов и проведения испытаний

При изучении и оценке свойств исходных материалов, растворных смесей и затвердевших растворов использованы в основном стандартные методики исследований.

Удобоукладываемость растворных смесей определялась двумя методами:

1) по определению подвижности в соответствии с ГОСТ 5802–86 [31];

2) по расплыву конуса согласно [90]. При проведении этого испытания использовался стандартный конус прибора

Вика, имеющий следующие размеры: нижний внутренний диаметр 100 мм, верхний внутренний диаметр 70 мм, высота 60 мм. Расплыв конуса определялся на встряхивающем столике и поддерживался для кладочных смесей интервале 170 ± 5 мм после 15 встряхиваний.

Удобообрабатываемость свежеприготовленной растворной смеси характеризуется по подвижности (Π_k), определяемой по глубине погружения в эту смесь эталонного конуса (рис. 2.1).

Среднюю пробу растворной смеси не менее 3 литров перед испытанием перемешивают в течение 30 с и переносят в стальной сосуд. Смесь в сосуде штыкуют 25 раз стальным стержнем диаметром 12 мм, после чего сосуд вместе со смесью встряхивают легким постукиванием о край стола. Стальной, протертый влажной тканью, конус подводят к верхнему краю растворной смеси и по шкале прибора «снимают первоначальный отчет. После этого быстро отпускают стопорный винт и дают конусу свободно опуститься в раствор. По окончании погружения по шкале снимают второй отчет.

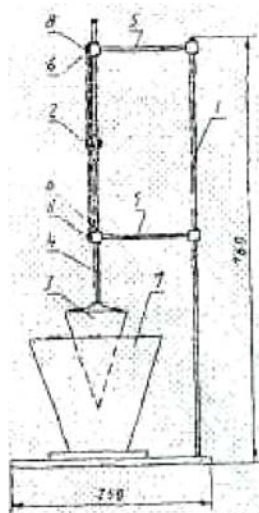
Глубину погружения эталонного конуса определяют как разность между вторым и первым отчетами. Подвижность растворной смеси вычисляют как среднее арифметическое значение двух определений глубины погружения конуса (ГОСТ 5802–86).

Плотность и расслаиваемость растворных смесей определялись в соответствии с ГОСТ 5802–86 [31].

Определение средней плотности растворной смеси производят в мерном стальном цилиндрическом сосуде вместимостью 1 литра.

Рис. 2.1. Прибор для определения подвижности растворной смеси:

- 1 – штатив; 2 – шкала; 3 – эталонный конус;
- 4 – штанга; 5 – держатели; 6 – направляющие;
- 7 – сосуд для растворной смеси; 8 – стопорный винт



Перед испытанием сосуд взвешивают, затем его наполняют вровень с краями и штыкуют стальным стержнем 25 раз, с последующим постукиванием о край стола 5–6 раз. После уплотнения доводят уровень раствора до края сосуда.

Среднюю плотность растворной смеси определяют как среднее арифметическое значение по двум определениям (ошибка в испытаниях между пробами не должна превышать 5 %) по формуле: $\rho_m = (m_1 - m_0) 1000/1000$, (кг/м³).

Водоудерживающая способность растворных смесей определялась по нестандартной методике, отличающейся от методики ГОСТ 5802–86 [31] схемой прибора, т. е. производилось испытание слоя растворной смеси толщиной 12 мм, уложенной на пористое и условно плотное основание.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяли выраженным в процентах содержанием воды в пробе до и после эксперимента по формуле ГОСТ 5802–86 [32]:

$$V = \left(100 - \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} \cdot 100 \right), \quad (2.1)$$

где m_1 – масса пористого или условно плотного основания до испытаний, г;

m_2 – масса пористого (условно плотного) основания после испытания, г;

m_3 – масса установки без растворной смеси, г;

m_4 – масса установки с растворной смесью, г.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяли дважды для каждой пробы растворной смеси и вычисляли как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % от меньшего значения.

Кроме того для некоторых составов определение водоудерживающей способности осуществлялось по методике определения данного показателя путем замера времени капиллярного всасывания воды фильтровальной бумагой из раствора на специальном приборе (рис. 2.2).

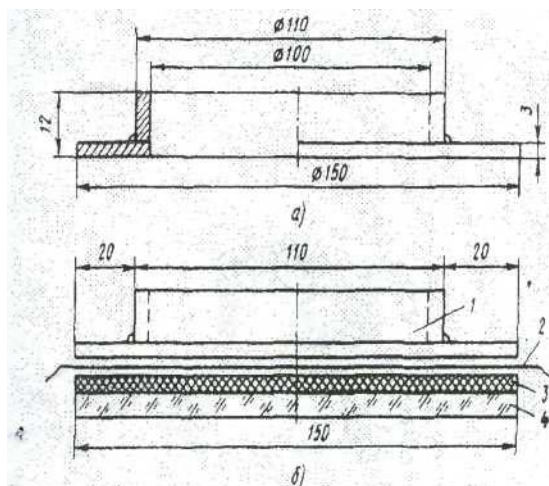


Рис. 2.2. Приспособление для определения водоудерживающей способности растворной смеси:

а – металлическое кольцо; б – схема сборки приспособления:
1 – кольцо с растворной смесью; 2 – марлевая ткань; 3–10
листов фильтровальной бумаги; 4 – стеклянная пластина

Перед испытанием (ГОСТ 6246–82) 10 листов фильтровальной бумаги диаметром 150 мм взвешивают (m_1) с погрешностью до 0,1 г, укладывают на стеклянную пластину размером 150x150 мм и накрывают марлевой тканью размером 250x350 мм. Сверху на ткань устанавливают стальное кольцо (рис. 15-а) и все устройство взвешивают (m_3). Затем тщательно перемешанную растворную смесь укладывают в металлическое кольцо 1 вровень с краями и снова взвешивают (m_4). Через 10 мин металлическое кольцо с растворной смесью вместе с тканью 2 осторожно снимают с фильтровальной бумаги 3. Бумагу взвешивают (m_2) с погрешностью до 0,1 г.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяют по снижению относительного содержания воды в пробе по формуле:

$$\Delta B = [(m_2 - m_1) / (m_4 - m_3)] \times 100, (\text{в } \%).$$

Водоудерживающую способность растворной смеси определяют дважды для каждой пробы растворной смеси и вычис-

ляют как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся не более, чем на 20 % от меньшего значения.

Жизнеспособность растворных смесей определялась по ГОСТ 5802–86 [31], как время, в течение которого начальное значение расплыва стандартного конуса (170 ± 5 мм при 15 встряхиваниях на встряхивающем столике) понижается на 30 мм. Измерение расплыва конуса проводилось каждые 15 мин.

Размеры и форма изготавливаемых образцов, условия уплотнения растворных смесей соответствовали ГОСТ 5802–86 [31]. Из растворов изготавливали балочки размером $4 \times 4 \times 16$ см и кубы размером $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см.

Распалубливание образцов производилось после 48 часов воздушного, твердения. Образцы после распалубливания выдерживались в нормально-влажностных условиях в лабораторной камере нормального твердения в течение 28 суток, после чего проводились испытания.

Прочность, морозостойкость, средняя плотность образцов затвердевших растворов определялись по ГОСТ 5802–86 [31], водопоглощение – по ГОСТ 12.730.3–78 [40].

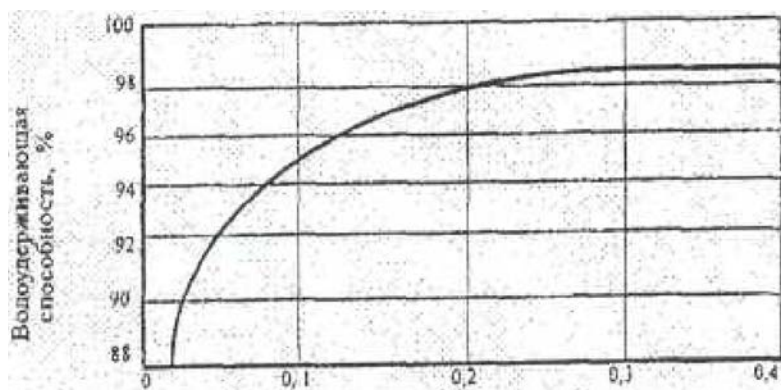
Определение открытого времени (жизнеспособности) раствора. Метод заключается в определении промежутка времени, после которого отсутствует адгезия (прилипание) раствора к тыльной стороне плитке при ее отрыве. Образцы-плиточки размером 25×25 мм в количестве 10 штук укладываются на раствор с пригрузом массой 1 кг. Затем с интервалом 20 с. В течение 1 минуты плитки отрывают и визуально определяется степень налипания раствора. Дальнейшее определение осуществляется через: 1, 2, 5, 10, 20 минут. Испытания прекращаются в тот момент, когда на плитке при отрыве наблюдается минимум прилипшего раствора.

При определении **сползания плитки**, также как и по методике определения «налипания», на бетонную плиту зубчатым шпателем наносится испытуемый клей, через 10 минут накладывается керамическая плитка 150×150 мм и на 30 сек. прижимается грузом 50Н. Затем бетонная плита устанавлива-

ется вертикально и через 10 минут штангенциркулем измеряется сползание плитки под собственным весом с точностью 0,1 мм. Далее на верхний торец плитки прикладывается нагрузка 300 г и через одну минуту замеряется сползание. Оценка данного свойства проводится по трем результатам.

Определение расхода полимерной добавки на водоудерживающую способность растворной смеси

Используемые в качестве полимерных добавок составы и композиции, как правило, являются растворимыми в воде. Время растворения зависит от тонкости помола используемых дисперсных порошков и их химической модификации; они способны сохранять свои свойства после растворения в воде, повторного высушивания и диспергирования (измельчения). Вязкость растворов с полимерными добавками находится в различных пределах и с увеличением ее наблюдается эффект повышения Водоудерживающей способности. Тот же эффект наблюдается и при увеличении концентрации МЦ в растворе от 0,1 до 0,3 % (рис. 2.3).



Содержание полимерной добавки в составе сухой смеси, %

Рис. 2.3. Влияние содержания полимерных добавок на водоудерживающую способность растворной смеси

Водоудерживающая способность строительных растворов повышается при увеличении дисперсности полимерных по-

рошков. Основными свойствами сухих смесей с полимерными добавками являются:

- очень быстрое приобретение соответствующей консистенции раствора при перемешивании с водой;
- высокая водоудерживающая способность, предотвращающая быстрое обезвоживание раствора;
- регулируемость подвижности раствора;
- хорошая адгезия с основанием в мокром и отвержденном состоянии.

Эффект водоудерживающей способности полимерных добавок может быть продемонстрирован при использовании фильтровальной бумаги в качестве всасывающего «основания» (рис. 2.4).

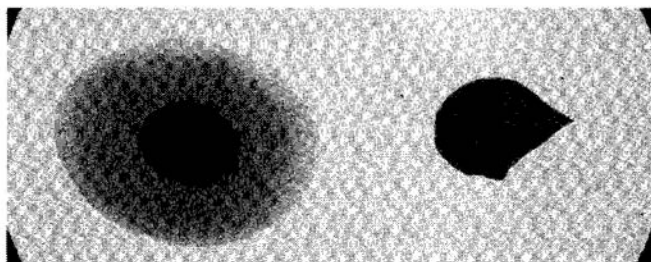


Рис. 2.4. Использование фильтровальной бумаги в качестве всасывающего основания для раствора:

а – без полимерных добавок; б – с добавкой

В растворе без полимерных добавок вода быстро впитывалась из раствора в фильтровальную бумагу с образованием мокрого пятна, в строительном растворе, содержащей полимерные добавки, обеспечивается сохранение воды. На практике это означает, что полимерные добавки эффективно препятствуют осушению мокрого раствора. Вода сохраняется в растворе дольше, что позволяет использовать его более эффективно.

При истечении определенного времени после нанесения раствора полимерные добавки снова отдают воду в вяжущее и, таким образом, способствует отличному отверждению раствора, гарантируя сцепление продукта с основанием.

Определение **теплофизических параметров** осуществлялось в специальной установке на образцах-плитах с размерами 0,25х0,25х0,05 м. **Теплопроводность** растворов определялись по ГОСТ 7076–99 [32] с использованием прибора – измерителя теплопроводности модели ИТП-МГЧ «100». Диапазон измерений 0,02...1,5 Вт/м °К; погрешность ±5 %.

Усадка твердеющего раствора, отформованного в балочки, определялись с помощью катетометра КМ-8 в течение 28 суток воздушного твердения.

Трещиностойкость затвердевшего строительного раствора определялась по ГОСТ 8829 и ГОСТ 29167–91 «Методы определения трещиностойкости», а также экспресс-методом на кольцевом приборе по способу НИИЖБа в зависимости от усадки, которая обуславливает появление трещины за счет превышения напряжения усадки над прочностью на растяжение.

Коэффициент линейного термического расширения определялся по ГОСТ 10978–83 dilatометрическим методом. Для отсчета изменений линейных размеров использовался индикатор часового типа с точностью измерения 0,001 мм. Принятый интервал температур – 10 °С. Расчет производился по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{L_1 - L_0}{L_0 (t_1 - t_0)}, \quad (2.2)$$

где L_0 – первоначальная длина образца, м;

L_1 – длина образца после нагревания, м;

t_1 – температура нагрева, °С;

t_0 – температура до опыта, °С.

Глубина проникновения в бетонные и каменные материалы осуществлялась путем замера проникающей растворной композиции в массив основания под микроскопом по сколу, а также путем сравнения пористости затвердевших проб, отобранных на различной глубине. Расчет пористости осуществлялся по методике ASTM с определением следующих характеристик материала: относительный суммарный объем пор, %;

средняя площадь пор, мм²; средний периметр пор, мм; минимальный и максимальный размеры пор.

Определение фиксирующей способности раствора. При выполнении отделочных работ облицовочной плиткой очень важно знать фиксирующую способность раствора. Данный метод позволяет подбирать рецептуру состава смеси и модификацию МЦ для фиксации плитки на поверхности. Сущность метода заключается в определении касательной нагрузки, при которой происходит перемещение плитки относительно поверхности экрана (рис. 2.5).

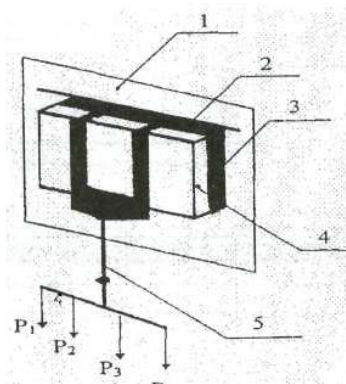


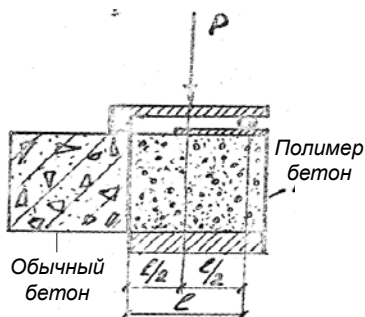
Рис. 2.5. Установка для определения фиксирующей способности:

1 – пластмассовый экран; 2 – уровень фиксации; 3 – раствор; 4 – облицовочная плитка; 5 – устройство для нагружения

Фиксирующая способность $R_{\text{фикс}} = \sum P$ соответствует сумме грузов, при которой край плитки начинает перемещаться относительно линии уровня фиксации.

Прочность сцепления с основанием определялась по ГОСТ 28574 для сухих строительных смесей по удельной работе при отрыве, затрачиваемой на разделение раствора и основания. На рис. 2.6 представлена схема испытаний на сдвиг сдвоенных кубиков в месте контакта бетона или другого стенового материала со строительным раствором из сухих смесей. Кроме испытаний на сдвиг, были проведены испытания на отрыв путём разрыва составных восьмёрок, выполненных из двух полувосьмёрок из обычного цементного бетона и склеенных раствором композицией из сухих смесей.

Рис. 2.6. Схема испытаний на адгезионную прочность образцов в зоне контакта обычного бетона и строительного раствора из сухих смесей по методу А. А. Гвоздева



Прочность сцепления с основанием определялась как отношение нагрузки, затраченной на разделение тел, к площади поверхности отрываемого раствора: $R_{св} = \frac{P}{S} \times 10$,

где P – нагрузка, затраченная на разделение тел, Н;

S – площади поверхности отрываемого раствора, см².

Показатели пористости затвердевших растворов определялись по ГОСТ 12730.4–78 [41].

Каждый из определяемых показателей выводился как среднее арифметическое значение испытания не менее шести образцов. Разброс показаний по результатам подсчета не превышал 5–6% от среднестатистического.

2.3. Физико-химические методы исследования цементного камня с добавками

При изучении строительных растворов на основе сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия исследовали как моносоставы, так и бинарные композиции, а также составы с набором всех компонентов совместно с минеральным вяжущим. Испытания сухих строительных смесей осуществлялись по действующим методикам; при этом предпочтение по оптимизации составов и технологических режимов отдавалось после многокомпонентного анализа, сочетающего химические, физические и физико-химические методы.

Изучение структуры строительных растворов из сухих смесей и физико-химических процессов в системе – минеральное вяжущее: заполнитель: комплексные добавки – проводилось по методикам соответствующих приборов и методам физико-химических исследований строительных материалов (ДТА, микроструктурный анализ, рентгенофазовый анализ, порометрия и др.), описание которых приведено в гл. 4.

При этом были использованы следующие методы и приборы.

Термографические исследования и рентгенофазовый анализ производили в Научно-производственном объединении «СибГЕО». ДТА снимались на дериватографе, который позволяет наряду с дифференциальной кривой нагревания (ДТА) получать кривые изменения массы (ТГ) и скорости изменения массы (ДТГ). Дифференциальный термогравиметрический анализ выполнялся с помощью дериватографа ОД-102 системы Ф. Паулик, И. Паулик, Л. Эрдеи. Съемку термограмм проводили при нагревании печи со скоростью 10 °С/мин до 1000 °С [27].

Рентгенофазовый анализ осуществлялся на установке ДРОН-3. в Cu-Kα излучении, скорость движения счетчика 2°/мин, диаграммной ленты – 720 мм/ч, с отметкой через 1°. Рентгенограммы получены в интервале углов 9...58°. Образцы готовились по общепринятой методике в виде порошков. Анализ полученных кривых и их расшифровка осуществлялись по справочной литературе [27, 135, 146].

Микроструктурные и порометрические исследования производились в экспериментальной лаборатории института неорганической химии СО РАН. Срезы образцов конгломератного материала и изготовление шлифов и аншлифов выполнялись в производственных мастерских Новосибирской геологической партии.

Кислотно-основные свойства материалов оценивали по показателю pH водных вытяжек и значению электрохимического потенциала. Удельную поверхность минеральных порошков, отходов АЦП и других компонентов определяли на

приборе ПСХ-2. Для определения реологических характеристик использовался консистометр Хепплера.

2.4. Методы математического планирования и обработки результатов исследований

Для нахождения оптимальных рецептурно-технологических параметров путем анализа зависимостей различных от факторов друг от друга и последующего управления исследуемыми процессами были использованы методы математического планирования эксперимента. При этом, в качестве основного направления планирования была поставлена задача нахождения оптимального состава сухой растворной композиции для производства работ на различных заполнителях с комплексными добавками при минимальном расходе вяжущего (портландцемента) и обеспечении заданных значений прочности, адгезионной способности и трещиностойкости. Кроме того, изучалось влияние технологических параметров (время, температура, последовательность) на свойства материала. Для каждого из анализируемых факторов задавались значения и интервалы варьирования с последующим их кодированием [131–134]:

При планировании экспериментов использовались матрицы полного двухфакторного (тип 2^{II}) и трехфакторного (тип 2^{III}) экспериментов с соответствующим анализом результатов в процессе исследований, обработкой данных по компьютерной прикладной программе для рецептурно-технологических задач.

Уравнение регрессии двухфакторного эксперимента (2^{II}):

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2.$$

Расчет коэффициентов уравнения регрессии осуществляется по формуле:

$$b_j = \sum_{i=1}^N X_{ji} \cdot y_i / N,$$

где i – номер опыта ($i = 1, 2, 3, \dots, m$);

j – номер соответствующего коэффициента ($j = 0, 1, 2, 3, \dots, m$).

Для определения регрессионной зависимости были назначены условия проведения эксперимента, в соответствии с принятым планом, проведена математическая обработка результатов эксперимента с выявлением степени влияния отдельных факторов, а также выполнен анализ полученных результатов. При этом, были получены полиномиальные уравнения третьего порядка по прочности строительного раствора и модели второго порядка двухфакторного эксперимента по трещиностойкости и адгезионной прочности, которые были оценены по средним значениям опытов, дисперсии (критерию Кохрена), адекватности модели (критерию Фишера), а также проведена проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии [131–134].

Глава 3

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

3.1. Разработка составов сухих строительных смесей

Разработке составов сухих строительных смесей предшествует определение требований, которые необходимо учесть и выполнить при расчетах. Естественно, что эти требования должны учитывать эксплуатационные особенности, в том числе воздействие на них нагрузок и атмосферных факторов при функционировании объектов, на которых будут использованы строительные растворы из сухих смесей.

Климат Сибири отличается от европейской территории России долгой зимой с неустойчивой погодой. Средняя температура января – около -20°C , но бывают морозы до минус $45-50^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.1).

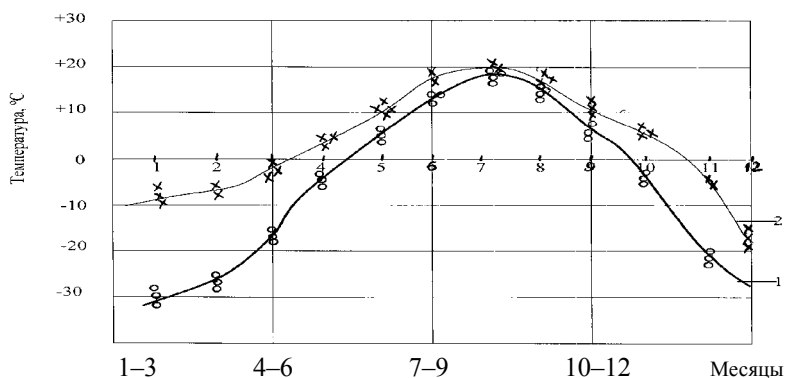


Рис. 3.1. Показатели среднемесячной температуры за год с 1991 по 2013 гг.: 1 – для Новосибирска; 2 – для Москвы

Зимой выпадает около 100–150 мм осадков. Снежный покров не более 20–40 см, поэтому грунт глубоко промерзает. Лето теплое, но короткое – около 3 месяцев. Средняя темпера-

тура +18–22 °С, максимальная – выше 40 °С. Период без заморозков составляет не более 2–3 месяцев.

Относительная влажность воздуха летом и зимой около 100%, что способствует интенсивному накоплению влаги в массиве ограждающих конструкций без возможности осушения в летний период из-за короткого теплого периода сухого воздуха.

Все это способствует повышению коррозионной агрессивности атмосферы, которая характеризуется продолжительным увлажнением (2020–2580 ч/год) поверхностей пленками влаги, а также продолжительным увлажнением фазовой и адсорбционной пленками влаги, величины которых составляют соответственно 1340–1690 и 710–1430 ч/год.

Строительные материалы подвергаются различным нагрузкам, воздействиям от изменения температуры среды, атмосферы или других факторов, в результате материалы испытывают внутренние напряжения сжатия, растяжения, изгиба, среза.

От различных напряжений материал в конструкциях по-разному деформируется, т.е. испытывает линейные и объемные изменения, вследствие чего появляются трещины, отколы и др. При многократной переменной нагрузке материал может разрушиться значительно раньше, чем при действии напряжений, которые соответствуют предельным для данного материала при однозначных статистических нагрузках. Часто под воздействием атмосферных факторов изменяются первоначальные свойства материала, со временем происходит его «старение», сопровождаемое понижением прочности.

Учитывая широкий спектр воздействующих факторов на строительные конструкции, расположенные в Сибирской климатической зоне, необходимо разработать составы строительных растворов, отличающиеся повышенной трещиностойкостью, высокой адгезионной способностью к основанию для штукатурных составов и к строительным изделиям для кладочных растворов, а также пониженным коэффициентом теплопроводности для исключения мостиков холода в каменной кладке.

По общепринятым методикам были выполнены предварительные расчеты состава сухой строительной смеси с раз-

личными добавками, результаты которых приведены ниже. Состав сухой строительной смеси проектировался из расчета на 1 м³, используя следующие структурные показатели материалов: фракционность, насыпную плотность и пустотность (табл. 3.1).

$$\Pi = p_{\text{нц}} \times V_{\text{пуст}} = 1,3 \times 0,477 \times 1000 = 620 \text{ кг}$$

Межзерновая пустотность цемента:

$$1,3 \quad \text{—} \quad 0,58$$

$$0,62 \quad \text{—} \quad X \quad X \times 1000 = 277 \text{ л}$$

$$\text{Пустотность песка: } 477 - 277 = 200 \text{ л;}$$

Пустотность наполнителя – отходов АЦП:

$$D = p_{\text{ндоп}} \times 100 \text{ кг;} \quad D = 1,36 \times 100 = 136 \text{ кг}$$

Пустотность наполнителя:

$$1,36 \quad \text{—} \quad 0,5$$

$$272 \quad \text{—} \quad X \quad X = 100 \text{ л}$$

Остаточная пустотность песка:

$$477 - (277 + 10) = 100 \text{ л.}$$

С учетом реальной пустотности песка и других материалов:

$$\Pi = p_{\text{нц}} \times V_{\text{пуст песка}}, \text{ кг} \quad \Pi = 1,3 \times 400 = 520 \text{ кг;}$$

$$1,3 \quad \text{—} \quad 0,58$$

$$520 \quad \text{—} \quad X \quad X = 232 \text{ л.}$$

$$\text{Пустотность песка} - 0,4 \times 232 = 168 \text{ л;}$$

$$\text{Расход наполнителя составит: } D = 1,36 \times 168 = 228 \text{ кг}$$

С учетом пустотности наполнителя:

$$1,36 \quad \text{—} \quad 0,5$$

$$228 \quad \text{—} \quad X \quad X = 84 \text{ л.}$$

Остаточная пустотность песка составит:

$$0,4 - (0,232 + 0,084) = 84 \text{ л.}$$

Для достижения более плотной в состав смеси вводят вяжущее:

$$\Pi = 1,3 \times 0,084 = 109 \text{ кг,}$$

у которого пустотность составляет:

$$1,3 \quad \text{—} \quad 0,58$$

$$0,109 \quad \text{—} \quad X \quad X = 48 \text{ л.}$$

Тогда состав смеси представит в виде (табл. 3.1):

Таблица 3.1

Расчетный состав сухой строительной смеси

Компоненты сухой смеси	Расход материалов	
	по массе, кг	в % по массе
Кварцевый песок	750–880	63–70
Цемент	280–320	20–25
Отходы АЦП	85–120	8–12
Σ	1100–1350	100

Для оптимизации составов и улучшения их эксплуатационных свойств рекомендуется использовать оптимальную гранулометрию песка, позволяющую получать более плотные растворные смеси при пониженном расходе минерального вяжущего вещества. В табл. 3.2 приведены оптимальные расчетные значения гранулометрического состава песка.

С учетом выполненного расчета были исследованы различные составы сухих строительных смесей с минеральными добавками направленного действия и определены их некоторые эксплуатационные свойства, которые приведены в табл. 3.3. Как следует из табл. 3.3, введение небольшого количества отходов асбестоцемента почти не влияет на показатели прочности материала на сжатие, в то же время существенно (почти в три раза) увеличивают предел прочности при изгибе.

При введении отходов АЦП более 15% наблюдается снижение не только прочностных показателей, но и существенно уменьшается адгезионная способность составов. В то же время, вводя отходы АЦП (более 20%), можно значительно снизить коэффициент теплопроводности, что очень важно при использовании сухих строительных смесей для устройства стен зданий из газобетонных и пенобетонных блоков. Для повышения адгезионной способности и эксплуатационной надежности строительных растворов из сухих смесей при сохранении высоких прочностных показателей и низкого значения коэффициента теплопроводности в их состав необходимо ввести полимерные и проникающие добавки.

Таблица 3.2

Расчётная гранулометрия песка, обеспечивающая максимальную упаковку зерен

Насыпная				В уплотнённом виде			
содержание фракций, %		плотность, кг/м ³		содержание фракций, %		плотность, кг/м ³	
1,25-0,63	0,63-0,315	0,315-0,14	0,14-0,063	Расч.	Факт.	1,25-0,63	0,315-0,14
62,3	6,9	23,6	5,2	1966	1810	63,4	11,1
							22,5
							3,1
							2170
							1910

Таблица 3.3
Экспериментальные составы сухих смесей и свойства затвердевшего строительного раствора

№ п.п	Расход составляющих, кг/м ³			Прочность при		Адгезия, МПа	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/м °С
	цемент	песок	ОАЦП	сжатия, МПа	изгибе, МПа			
1	300	900	-	10,0–12,0	1,2–1,4	1,4–1,8	1350–1470	0,92–0,97
2	300	800	50	11,0–11,4	1,6–1,9	1,1–1,6	1220–1280	0,73–0,78
3	300	700	100	12,4–16,2	2,8–3,7	0,9–1,5	1180–1230	0,45–0,51
4	300	600	150	8,6–8,9	2,1–2,5	0,7–0,9	1070–1130	0,35–0,41
5	300	500	200	6,3–7,1	1,7–2,3	0,5–0,8	1030–1090	0,29–0,37
6	300	400	250	4,2–4,6	1,5–1,8	0,4–0,7	900–970	0,28–0,33

3.2. Влияние состава на трещиностойкость строительных растворов из сухих смесей

Одним из негативных проявлений конгломератных материалов, в т.ч. и строительных растворов и бетонов является их усадка во времени, которая вызвана уменьшением объема цементного камня в растворной части смеси при твердении. Такие деформации обусловлены испарением воды из микрокапилляров и последующим обжатием структуры цементного камня капиллярными силами. В обычных строительных растворах величина усадки может составлять 0,5–0,8 мм/м, что приводит к образованию усадочных трещин (рис. 3.2), которые отрицательно сказываются на эксплуатационных свойствах, адгезионной способности и других параметрах затвердевших строительных растворов, используемых в зданиях. Кроме того, усадка отрицательно сказывается на долговечности соединяемых элементов или защитных составов ввиду возможности насыщения трещин водой и различными растворами, способствующими нарушению целостности и возникновению дополнительных касательных напряжений.



Рис. 3.2. Внешний вид строительного раствора с усадочными трещинами

На величину усадочных деформаций влияет целый ряд различных факторов, одними из которых является количество цемента и степень крупности мелкого заполнителя. Так, при повышенном расходе минерального вяжущего величина усад-

ки может составлять более одного миллиметра на метр (кривые 3, 4; рис. 3.3). При снижении процентного содержания цемента в растворной массе отмечается уменьшение усадки (кривая 1).

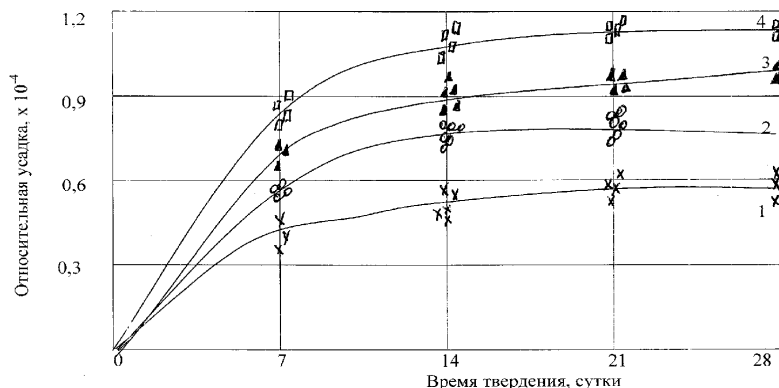


Рис. 3.3. Влияние соотношения между вяжущим и заполнителем на усадку затвердевшего строительного раствора:

1 – Ц: П = 1: 4 ($M_{кр} = 1,5$); 2 – Ц: П = 1: 3 ($M_{кр} = 1,5$);
3 – Ц: П = 1: 3 ($M_{кр} = 2,2$); 4 – Ц: П = 1: 2 ($M_{кр} = 2,2$)

Таким образом, для снижения усадочных деформаций необходимо чтобы расход минерального вяжущего не превышал двадцати – двадцати пяти процентов от инертного заполнителя. Кроме того, мелкий минеральный заполнитель, по-возможности, должен представлять достаточно четко регламентированный гранулометрический состав (табл. 3.2), обеспечивающий плотную упаковку минеральных составляющих без излишних пор и пустот. С этой целью рекомендуются составы на основе песков средней крупности с модулем крупности от 1,2 до 1,8.

На следующем этапе создания сухих строительных смесей было проведено изучение влияния различных видов мелкого заполнителя на величину усадочных деформаций (рис. 3.4). Как следует из приведенных графиков, мелкозернистый бетон на керамзитовом песке (кривая 1) имеет значительно большие показатели усадки по сравнению с составами на шлаковом и кварцевом песках (кривые 2 и 3). Существенное снижение

усадочных деформаций – почти в два раза – может быть достигнуто при использовании дисперсного микроармирования, например, за счет введения отходов асбестоцементного производства (кривая 4) или другого волокнистого материала.

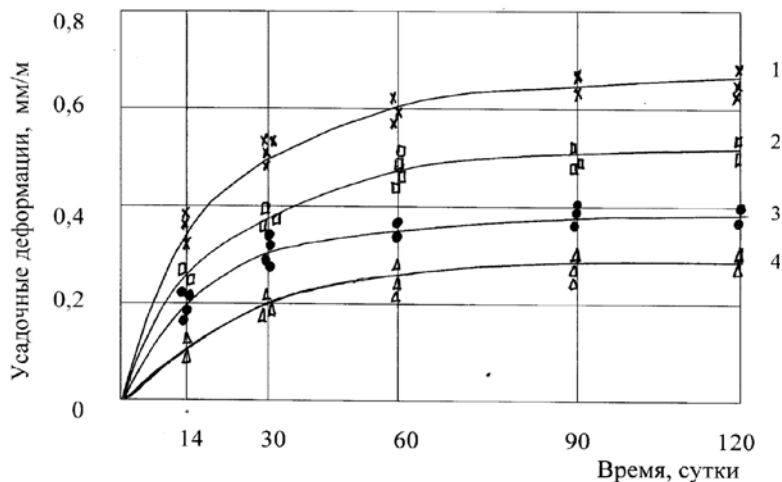


Рис. 3.4. Влияние вида заполнителя на усадочные деформации мелкозернистого бетона:

- 1 – бетон на керамзитовом песке; 2 – бетон на шлаковом песке;
- 3 – бетон на кварцевом песке; 4 – то же, с добавкой отходов АЦП

С этих позиций необходимо было уточнить рациональный расход отходов асбестоцементного производства с целью обеспечения минимальной усадки в течение длительного срока хранения и эксплуатации. На рис. 3.5 представлены кривые зависимости усадки мелкозернистых бетонов на кварцевом песке от содержания отходов асбестоцементного производства. Как следует из приведенных графиков, добавка ОАЦП до 5% мало влияет на величину усадочных деформаций. При 10–15% ОАЦП в составе смеси отмечается существенное снижение усадки строительного раствора (почти в два раза), что дополнительно сопровождается увеличением прочности при изгибе. Дальнейшее насыщение смеси отходами асбестоцемента не приводит к положительному эффекту ввиду

агрегатизации и чрезвычайно развитой удельной поверхности асбестового волокна, имеющего трубчатую микроструктуру. Поэтому при 20%-ном содержании ОАЦП отмечено некоторое увеличение усадки (кривая 5) по сравнению с 15%-ным содержанием ОАЦП.

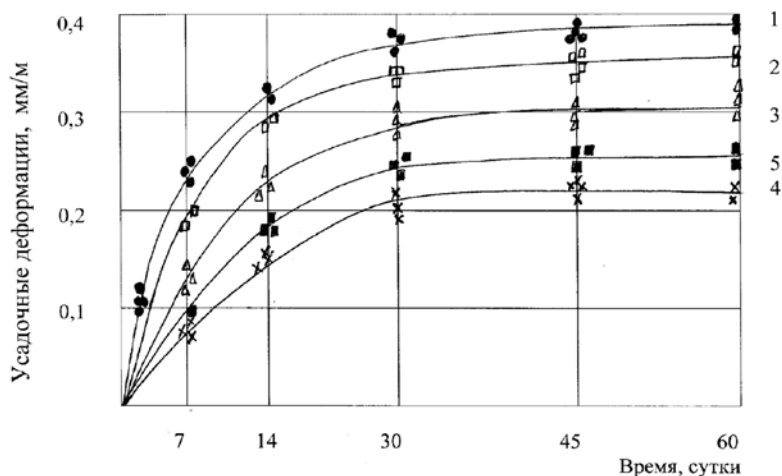


Рис. 3.5. Влияние добавок отходов АЦП на усадочные деформации строительного раствора на кварцевом песке

1 — бетон без добавок; 2 — добавка отходов АЦП 5%;
3 — то же, 10%; 4 — то же, 15%; 5 — то же, 20%

Кроме того, при данном расходе ОАЦП отмечается возможность получения строительного раствора максимальной плотности для различных расходов цемента, что может свидетельствовать о достижении оптимальной гранулометрии и возможности создания хорошо упакованного плотного конгломерата (рис. 3.6).

Дополнительным важным фактором обеспечения качественных показателей строительного раствора из сухих смесей является максимально возможное снижение водоцементного отношения при приготовлении растворной массы. Отмечено, что введение отходов асбестоцемента оказывает существенное влияние на увеличение водоцементного отношения, что вызвано высокой внутренней пористостью данного компонента,

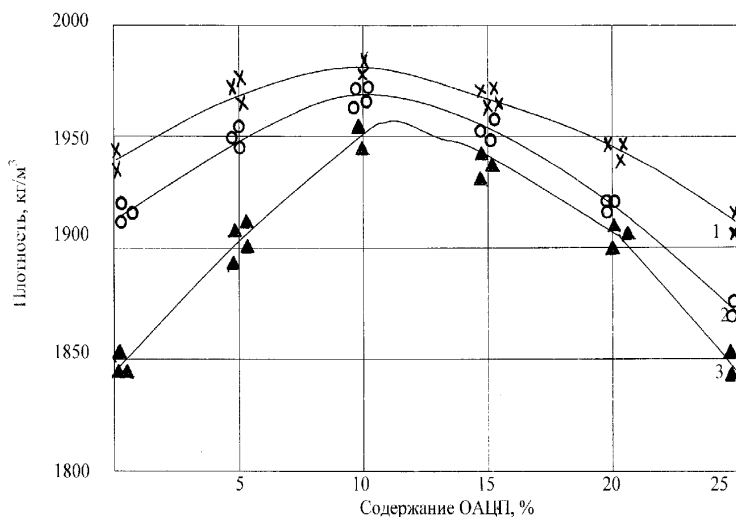


Рис. 3.6. Влияние расхода ОАЦП на плотность строительного раствора:

1 — расход цемента 25%; 2 — то же, 20%; 3 — то же, 15%

позволяющего насыщаться до 150–200 % влаги. Поэтому рост этого показателя вполне закономерен и является следствием высокоразвитой пористой структуры асбестового волокна при различных расходах цементного вяжущего (рис. 3.7).

Снижению водоцементного отношения может способствовать введение пластифицирующих, гидрофобизирующих и полимерных добавок, позволяющих получать пластичные смеси при минимальных расходах воды. Кроме того, введение таких добавок способствует получению плотных малопористых структур, обеспечивающих заданные технологические и эксплуатационные свойства. На рис. 3.8. представлены кривые влияния расхода отходов асбестоцемента на водоцементное отношение строительного раствора при введении добавок дегидрола и ВАЭ, показавшее положительное значение данных компонентов в технологическом обеспечении строительных растворных смесей. Отмечено, что совместное введение этих компонентов в сухие строительные смеси способствует снижению водоцементного отношения на 35–45 %, что долж-

но положительно сказаться на пористости цементного камня и его плотности после затвердевания.

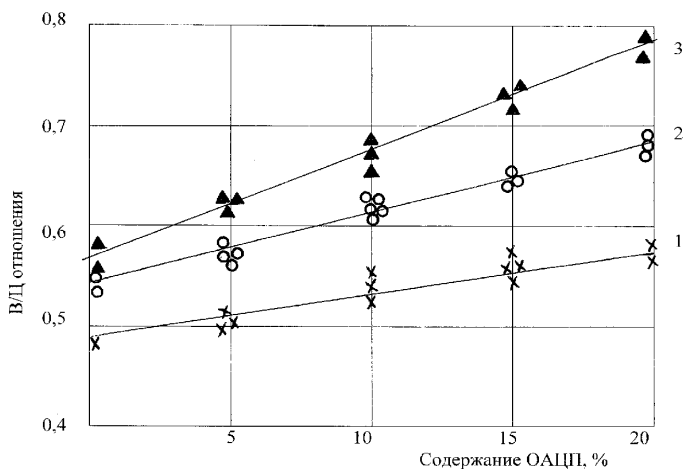


Рис. 3.7. Влияние расхода ОАЦП на водоцементное отношение строительного раствора:

1 – расход цемента 25%; 2 – то же, 20%; 3 – то же, 15%

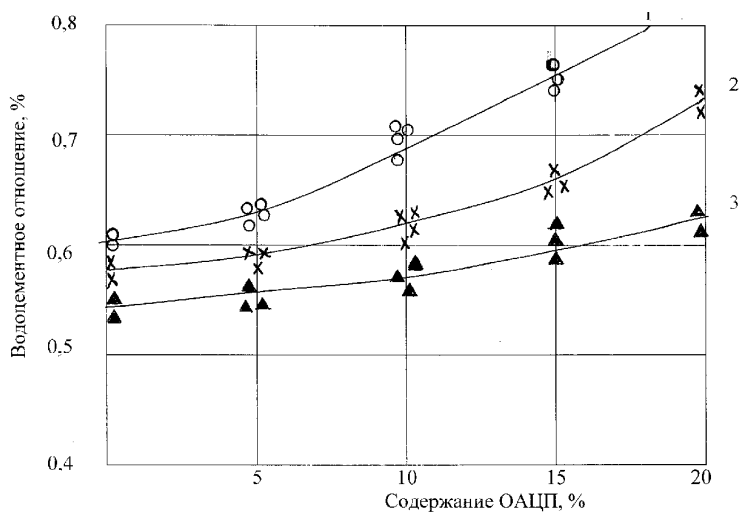


Рис. 3.8. Влияние расхода отходов асбестоцемента на водоцементное отношение раствора:

1 – без добавок; 2 – с добавкой дегидрола (3%); 3 – то же, + ВАЭ

Дополнительным эффектом от введения двухкомпонентной добавки в состав сухой строительной смеси является тот факт, что после затвердевания строительного раствора проявляется эффект, выражающийся в снижении величины усадки более, чем в два раза по сравнению с составами без добавок. На рис. 3.9 представлены кривые влияния времени твердения строительного раствора на относительную величину усадки.

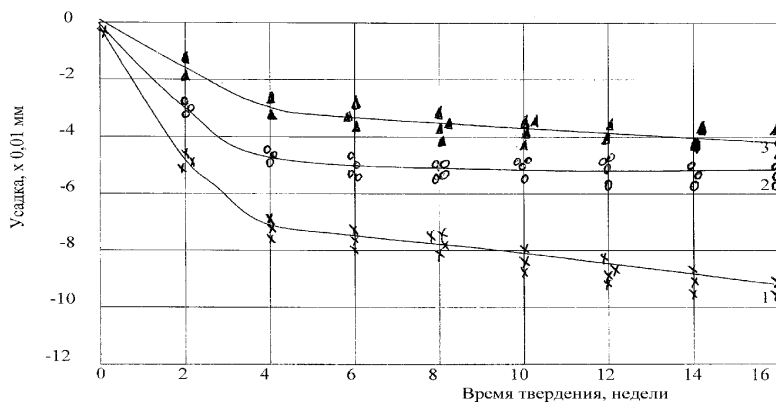


Рис. 3.9. Влияние времени твердения строительного раствора с содержанием 10% ОАЦП на величину относительной усадки:

1 — без добавки; 2 — с добавкой дегидрола; 3 — то же, + ВАЭ

Отмечено, что введение дегидрола и ПВА обеспечивает стабилизацию этого процесса после четырехнедельного твердения. В то же время составы без добавок продолжают длительное время изменять свои линейные и объемные размеры.

Таким образом, для создания малоусадочных строительных растворов из сухих смесей в их состав необходимо вводить от 10 до 15% отходов асбестоцементного производства, а также дополнительно пластифицирующие добавки полимеров или гидрофобизаторов, обеспечивающие минимальную водопотребность. Кроме того, рациональным, на наш взгляд, является введение специальных добавок, способствующих повышению адгезии и плотности получаемых растворных смесей, что позволит дополнительно улучшить их качество

и эксплуатационные показатели, и в первую очередь, трещиностойкость. Обладая повышенной трещиностойкостью, строительный раствор способен лучше сопротивляться циклическим температурным воздействиям при попеременном увлажнении и высушивании, замораживании и оттаивании, а это в свою очередь, должно обеспечить повышенную стойкость и долговечность строящихся и ремонтируемых объектов.

3.3. Влияние состава на адгезионную способность растворов из сухих строительных смесей

Учитывая тот факт, что строительные растворы на основе цементных вяжущих веществ используются преимущественно для производства каменных и монтажных работ, предварительно были изучены свойства различных стеновых материалов с определением их плотности, пористости, прочности и других параметров. Эти данные, приведенные в табл. 3.4, показывают, что максимальная плотность достигает 1820 кг/м^3 для силикатного кирпича, а минимальная – для газобетона «Сибит» – 500 кг/м^3 . Пористость стеновых материалов также варьирует в широких пределах, от 7 до 83 %. Прочностные показатели наиболее широко применяемых материалов расположены в интервале от 1,5 до 15,0 МПа. Также большой разброс значений имеют коэффициенты теплопроводности и величины водопоглощения материалов.

С целью обеспечения длительной совместной работы каменной кладки из стеновых строительных материалов и строительного раствора из сухой смеси необходимо было ввести в состав композиции минеральные добавки, способствующие уменьшению расхода цемента и создающие более плотную упаковку затвердевшего раствора. Учитывая тот факт, что ранее была доказана целесообразность введения отходов асбестоцементного производства и дегидрола, было сделано предположение, что при дополнительном помоле этих компонентов и цемента образуются активные центры и дополнительно проявятся вяжущие свойства у всех составляющих. С этой целью было изучено влияние дополнительного измельчения на свойства как самих компонен-

тов, так и строительных растворов из сухих смесей. Помол проводился в шаровой мельнице объемом 50 л. На рис. 3.10 и 3.11 показаны результаты дополнительной операции по уменьшению степени дисперсности вводимых добавок. Оценочным критерием служили остатки на сите № 008 в процентах.

Таблица 3.4

Свойства стеновых пористых материалов

Вид стенового материала	Показатели свойств				
	плотность кг/м ³	пористость, %	предел прочности при сжатии, МПа	коэффициент теплопроводности Вт/м ² , °С	водопоглощение, %
Красный кирпич	1300–1740	10–18	7,5–10,0	0,66–0,81	8–18
Силикатный кирпич	1640–1820	7–16	7,5–15,0	0,73–0,92	6–10
«Сибит»	500–550	68–79	1,5–3,5	0,12–0,31	38–48
Газобетон	550–600	71–83	1,5–2,5	0,15–0,35	35–50
Керамзито-бетон	900–1100	32–44	2,5–7,5	0,35–0,47	23–37
Шлакобетон	950–1200	12–36	2,5–5,0	0,59–0,74	23–38

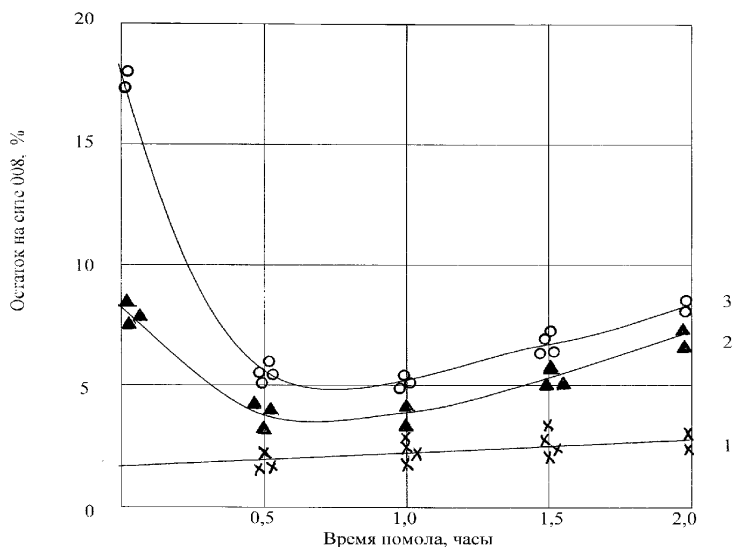


Рис. 3.10. Зависимость степени дисперсности минеральных компонентов от времени помола:

1 – портландцемент; 2 – дегидрол; 3 – отходы ОАЦП

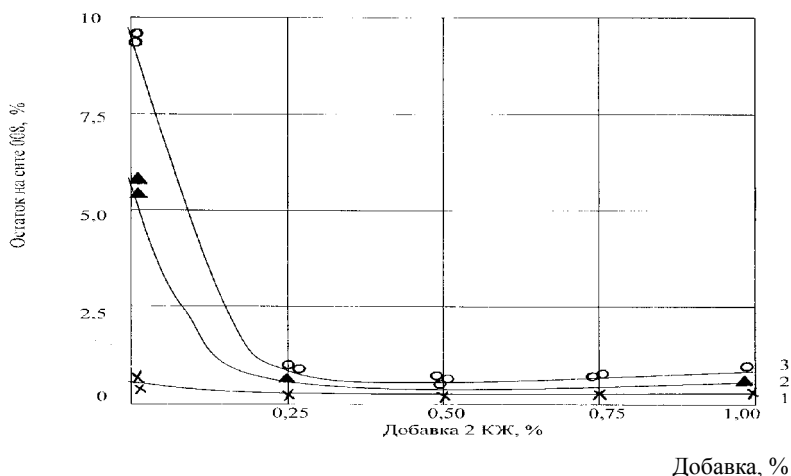


Рис. 3.11. Зависимость степени дисперсности минеральных компонентов от времени совместного помола с добавкой дегидрола:

1 – портландцемент; 2 – дегидрол; 3 – отходы ОАЦП

Как следует из приведенных графиков, максимальный результат по уменьшению дисперсности достигается при времени помола от 0,5 до 1,0 часа. Дальнейшее снижение дисперсности сопровождается агрегацией размолотых компонентов. С этих позиций рациональным можно считать время измельчение в пределах 0,5–0,6 часа.

При совместном помоле с дегидролом как цемента, так и отходов асбестоцемента отмечен эффект разделения и четкой самоорганизации частиц без их агрегатизации. Данная зависимость сопровождается увеличением степени дисперсности минеральных компонентов от времени совместного помола с дегидролом в интервале от 0,25 до 1,0% добавки этого компонента.

Важной характеристикой строительных растворов является их пластическая прочность, которая зависит от состава и наличия добавок направленного действия. Данный параметр определяет технологическую способность материала к возможности осуществления строительных и монтажных работ в течение определенного промежутка времени без снижения качества используемых материалов и уменьшения их активности. На рис. 3.12

представлены кривые зависимости пластической прочности цементно-песчаного строительного раствора от времени затворения сухой смеси. Отмечено, что добавка ПВА способствует продлению начала схватывания, т.е. удлиняет сроки использования строительной растворной массы практически до четырех часов (кривая 1). В то же время при отсутствии добавок схватывание раствора наблюдается уже через два часа (кривая 3).

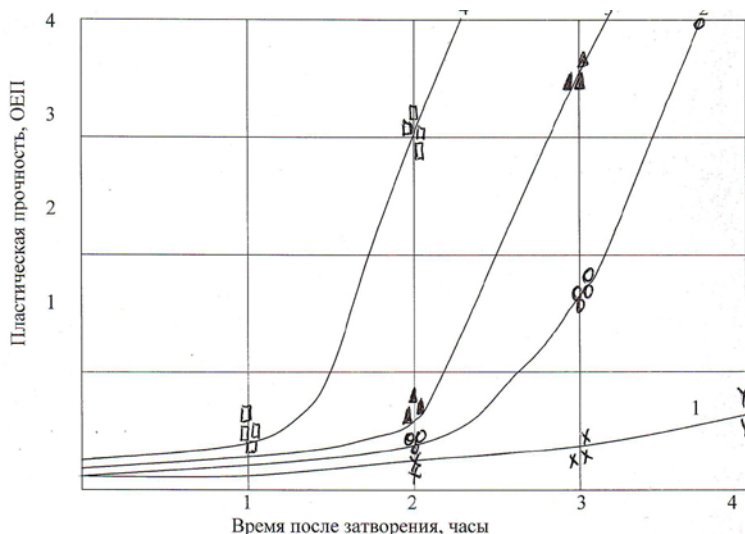


Рис. 3.12. Зависимость пластической прочности цементно-песчаного раствора от времени затворения:

1 – добавка ПВА; 2 – добавка ОАЦП; 3 – без добавки; 4 – добавка дегидрола

Отмечен положительный эффект введения отходов асбестоцемента (кривая 2), заключающийся в сдвиге начала формирования пластической прочности материала. Это, по нашему мнению, может быть отнесено за счет большого количества влаги внутри данного компонента и, как следствие, более медленного протекания процесса гидратации цемента. В то же время добавка дегидрола (кривая 4) ускоряет процесс формирования структуры материала, о чем свидетельствует быстрый рост пластической прочности строительного раствора приготовленного из сухой смеси.

Адгезионная способность и прочностные свойства затвердевшего строительного раствора из сухой смеси в большей степени зависят от степени уплотнения материала в период проведения каменных или монтажных работ. Поэтому было проведено изучение влияния степени уплотнения растворной массы на прочность строительного раствора. На рис. 3.13 представлены кривые зависимости степени уплотнения строительной растворной смеси на прочностные и структурные характеристики материала.

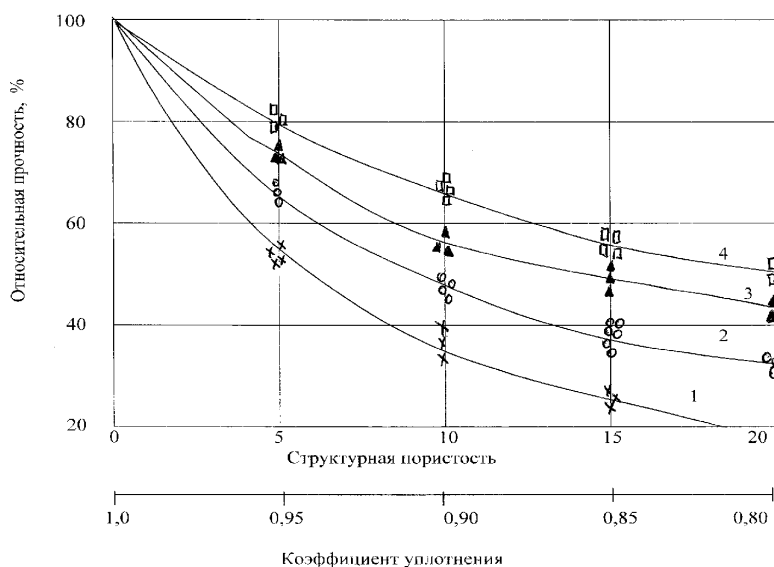


Рис. 3.13. Влияние степени уплотнения структуры цементного композита на прочность строительного раствора:

1 – без добавок; 2 – добавка ПВА; 3 – добавка ОАЦП; 4 – добавка дегидрола

Анализ представленных графиков свидетельствует о положительном влиянии всех вводимых добавок на способность растворной смеси уплотняться, что приводит к меньшей потере прочности и снижению пористости. В то же время при одних и тех же значениях пористости составы с добавками дегидрола и ОАЦП имеют значительно более высокие показатели прочности. Данный эффект может быть объяснен прояв-

лением микроармирующего воздействия отходов асбестоцемента и дополнительным проникающим действием дегидрола.

Дальнейшее изучение свойств строительных растворов из сухих смесей было направлено на изучение адгезионной способности материала.

Как показали проведенные испытания по вышеизложенным способам, разрушение целостности контактного слоя в большей степени зависят от состава строительного раствора. Так введение ПВА резко увеличивает прочность сцепления с основой; большое влияние на показатели адгезии оказывает количество вводимого дегидрола, обеспечивающего проникновение частиц раствора в массив основания стенового материала, что иллюстрируется соответствующими графиками. На рис. 3.14 представлены кривые зависимости содержания дегидрола в строительном растворе и способности данной композиции к проникновению в различные материалы. Как следует из приведенных данных, добавка двух-трех процентов дегидрола обеспечивает проникновение в массив стенового материала на 2–12 мм, что, по-нашему мнению, вполне достаточно для создания хорошей адгезии. В то же время при отсутствии этой добавки в составе строительного раствора прочность сцепления в полтора-два раза ниже. Прочность в контактной зоне при испытании на сдвиг колеблется в пределах от 2,0 до 8,5 МПа, а при испытании на отрыв – от 0,8 до 3,5 МПа.

На рис. 3.15 представлены зависимости влияния содержания отходов АЦП на адгезионные характеристики строительного раствора, из которых следует, что совместное введение ПВА и дегидрола существенно повышает адгезию композиции к основанию стенового материала, что было отмечено выше.

Следует особо отметить, что адгезионная прочность зависит от прочности не только самого строительного раствора, приготавливаемого из сухой смеси, но и стенового каменного материала или цементобетонного основания, качества поверхности, его чистоты и влажности. С позиций уточнения рецептуры покрытия из сухой строительной смеси следует считать, что лучшим может быть состав, включающий минеральные добавки направленного действия: отходы асбестоцементного производства и дегидрол.

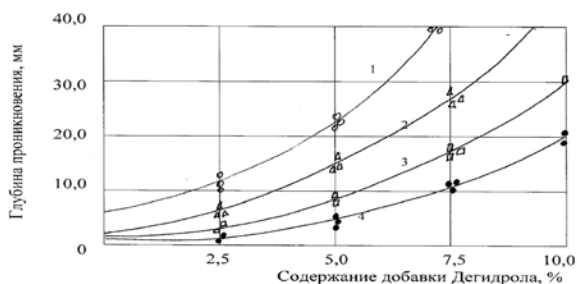
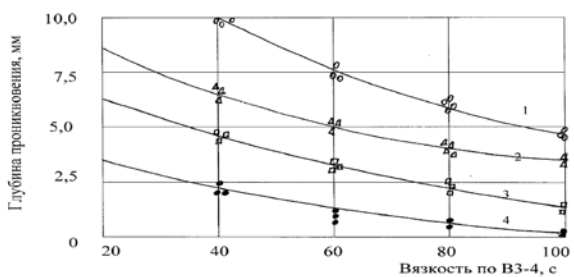


Рис. 3.14. Влияние содержания дегидрола в сухой смеси на глубину проникновения его в массив стенового материала:

1 – газобетон; 2 – легкий бетон; 3 – силикатный кирпич; 4 – тяжелый бетон

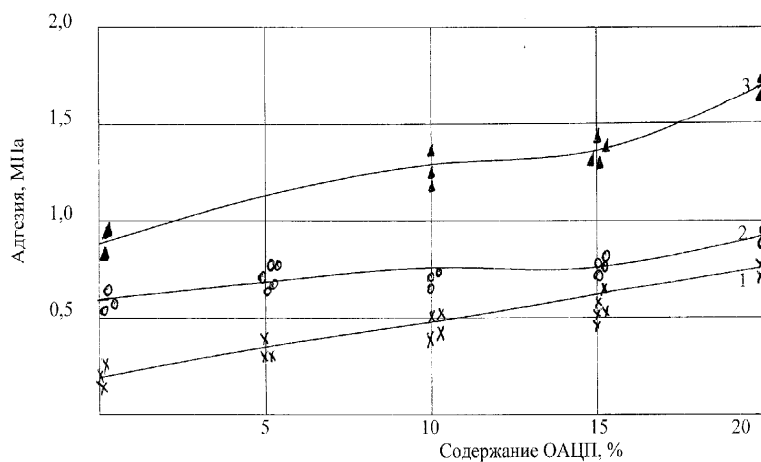


Рис. 3.15. Влияние содержания отходов АЦП на адгезию строительного раствора к основанию:

1 – без добавки; 2 – с добавкой кремнезолью; 3 – то же, + УНТ

Некоторые наружные элементы каменной кладки и части сооружений работают в большом диапазоне температур (от -40°C в зимний период до $+50^{\circ}\text{C}$ летом при нагреве солнечными лучами), что приводит к изменениям размеров строительных конструкций, материалов и штукатурных покрытий. Из-за разности коэффициентов линейного расширения на границе со стеновыми материалами и штукатурным или кладочным раствором возникают внутренние напряжения, которые приводят к отслоению защитного покрытия от основания, а впоследствии и к разрушению. Выходом из сложившейся ситуации может стать выравнивание физических свойств строительных растворов, в частности их коэффициентов линейного расширения с показателями каменных и бетонных стеновых материалов. Учитывая тот факт, что бетонные и каменные изделия заводского изготовления имеют стабильные качественные показатели и снижение или увеличение коэффициентов линейного расширения для них практически невозможно, остается только один вариант – приведение коэффициента линейного расширения строительного раствора, приготавливаемого из сухой смеси, до уровня показателей стеновых материалов. Последнее может быть достигнуто путем наполнения строительных сухих композиций минеральными порошками или мелкодисперсными фракциями, способствующими снижению величины коэффициента линейного температурного расширения.

Для проведения исследований изготавливались образцы-плитки размерами $100\times 10\times 10$ мм из строительного раствора, приготавливаемого из сухой смеси и добавок направленного действия: отходов асбестоцементного производства и дегидрола. Образцы помещали в термостат и нагревали до $+80^{\circ}\text{C}$; при этой температуре определялись линейные размеры образцов. Затем помещали образцы в холодильник, доводили температуру до -10°C и также определяли линейные размеры образцов.

После многократного проведения повторных опытов над образцами, брались средние значения изменения линейных

размеров и по формуле $\alpha = D\ell / Dt \cdot \ell$ определяли значение коэффициента линейного расширения. В данной формуле: $D\ell$ – разность линейных размеров (длин) образцов при Dt – разность температур.

Штукатурные покрытия и кладочные растворы имеют различные коэффициенты линейного температурного расширения, зависящие от состава и степени уплотнения. Для стандартных условий эти показатели могут иметь следующие значения в пределах от $\alpha = 0,5$ до $1,5 \times 10^{-5} / \text{град}$, поэтому нами были проведены дополнительные исследования по установлению влияния отходов асбестоцемента на изменение данных параметров (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Значения коэффициентов линейного расширения растворной композиции из сухих строительных смесей для различных стеновых материалов

Вид материала	Показатели коэффициента линейного расширения при расходе отходов асбестоцемента (%), $1 \times 10^{-5} / \text{град}$			
	0	5–8	10–12	15–20
Тяжелый бетон, железобетон, $1,0\text{--}1,2 \times 10^{-5} / \text{град}$	<u>1,0–1,1</u>	<u>0,9–1,1</u>	0,8–1,0	0,6–0,8
Кирпич керамический, $0,5\text{--}0,7 \times 10^{-5} / \text{град}$	1,0–1,1	0,9–1,1	0,8–1,0	<u>0,6–0,8</u>
Кирпич силикатный, $0,7\text{--}0,9 \times 10^{-5} / \text{град}$	1,0–1,1	0,9–1,1	<u>0,8–1,0</u>	<u>0,6–0,8</u>
Легкий бетон, $0,9\text{--}1,0 \times 10^{-5} / \text{град}$	1,0–1,1	<u>0,9–1,1</u>	<u>0,8–1,0</u>	0,6–0,8
Газобетон, $0,7\text{--}0,8 \times 10^{-5} / \text{град}$	1,0–1,1	0,9–1,1	<u>0,8–1,0</u>	<u>0,6–0,8</u>

Как следует из данных табл. 3.5, рациональные сухие смеси должны выбираться для каждого стенового материала индивидуально. Так для монтажных работ по укладке бетонных и железобетонных конструкций и деталей рациональной степенью наполнения строительного раствора на кварцевом

песке являются смеси с содержанием отходов АЦП в пределах до 10 %, что обеспечивает затвердевшему строительному раствору показатели коэффициента линейного расширения в пределах $0,9-1,2 \times 10^{-5} / \text{град}$, аналогичные бетону и железобетону.

При использовании легких бетонов (керамзитобетон, аглопоритобетон, перлитобетон и др.) рациональной степенью наполнения ОАЦП является 5–12 %. Для газобетона и силикатного кирпича этот показатель должен составлять от 10 до 17 %, а для каменной кладки из керамического кирпича не менее 15–20 %. Именно такие процентные расходы отходов асбестоцемента позволяют обеспечить совместимость коэффициентов линейного расширения строительных растворов из сухих строительных смесей с показателями стеновых материалов. Это, в свою очередь, создаст благоприятные условия для совместной работы частей зданий и сооружений в течение длительного срока без нарушения их целостности.

Таким образом, для улучшения качества и обеспечения требуемой минимальной величины сцепления строительного раствора из сухой смеси требуется обязательное введение в её состав строго определенного количества отходов асбестоцемента в зависимости от назначения используемой смеси. Кроме того, рационально введение ПВА в количестве 1–2 % от массы цемента и проникающей композиции дегидрол в количестве 1–1,5 %. Такой состав обладает адгезией практически к любому основанию стенового материала с показателями сцепления не менее 1,0–1,5 МПа, что считается вполне достаточным для длительной эксплуатации как защитных штукатурных, так и кладочных или монтажных строительных растворов.

3.4. Определение эксплуатационных характеристик строительных растворов из сухих строительных смесей с добавками направленного действия

Изучение эксплуатационных свойств строительных растворов с целью выявления механизма влияния отдельных добавок на структурообразование затвердевшей растворной массы осуществлялось путем сопоставления прочностных и других по-

казателей стандартных образцов, изготовленных с различными видами заполнителя. Результаты экспериментальных исследований роли минеральных и полимерных добавок приведены ниже. На первом этапе была уточнена зависимость сорбционного увлажнения от вида и состава затвердевшего строительного раствора из сухой смеси (рис. 3.16). Как следует из приведенных данных, величина сорбционного увлажнения в большей степени зависит от расхода цементного вяжущего и времени насыщения. Так, при расходе цемента 35 % этот показатель почти в два раза выше, чем при расходе цемента 20 %.

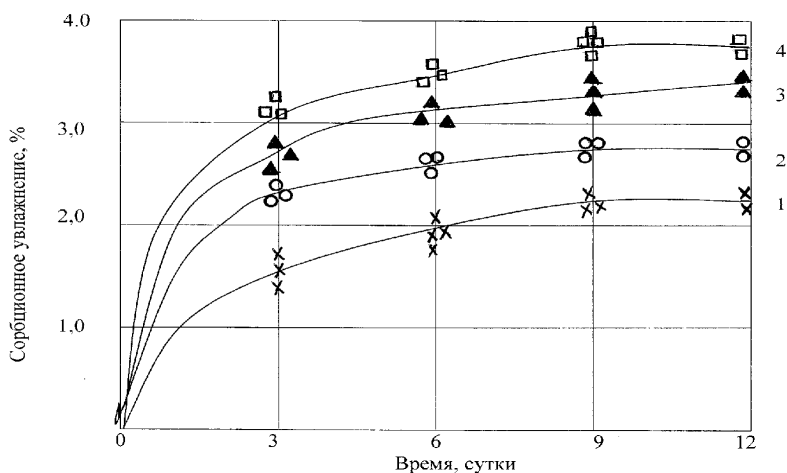


Рис. 3.16. Зависимость сорбционного увлажнения от вида и состава затвердевшего раствора:

1 – расход цемента 20%; 2 – то же, 25%; 3 – то же, 30%; 4 – то же, 35%

Особый интерес представлял вопрос влияния количества минеральных добавок на величину сорбционного увлажнения затвердевшего строительного раствора. Результаты этих испытаний, приведенные на рисунке 3.17, показывают, что введение отходов асбестоцементного производства негативно сказывается на величине сорбционного увлажнения. Это объясняется наличием дополнительного количества гидратированного цемента на волокнах асбеста. В то же время добав-

ка проникающей композиции дегидрол приводит к снижению величины сорбционного увлажнения, что проявляется за счет кольматации пор и уменьшении общей открытой пористости затвердевшего строительного раствора из сухой смеси.

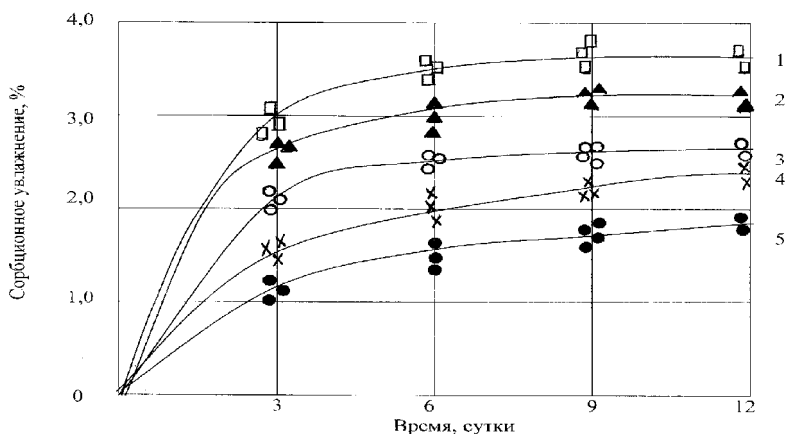


Рис. 3.17. Зависимость сорбционного увлажнения затвердевшего раствора при расходе цемента 20 %:

1 – добавка ОАЦП 20%; 2 – то же, 10%; 3 – без добавки; 4 – добавка дегидрола 5%; 5 – то же, 10%

К одним из важнейших эксплуатационных свойств любых материалов, в т.ч. и затвердевших строительных растворов, являются изменения характеристик при воздействии воды и водных сред. Так, влажность материала определяется содержанием в нем влаги, отнесенным к массе материала в сухом состоянии. По этому показателю строительные растворы из сухих смесей мало отличаются от обычных композиций, приготовленных по традиционным технологиям. Для выяснения особенностей водопоглощения затвердевшего строительного раствора на первом этапе была изучена смачиваемость минеральных порошков строительной смеси. Установлено, что добавка отходов АЦП способствует повышению водопоглощения на 50–70 %. Этот факт объясняется наличием волокнисто-трубчатой структуры асбеста и высокой внутренней пористости отходов АЦП (рис. 3.18).

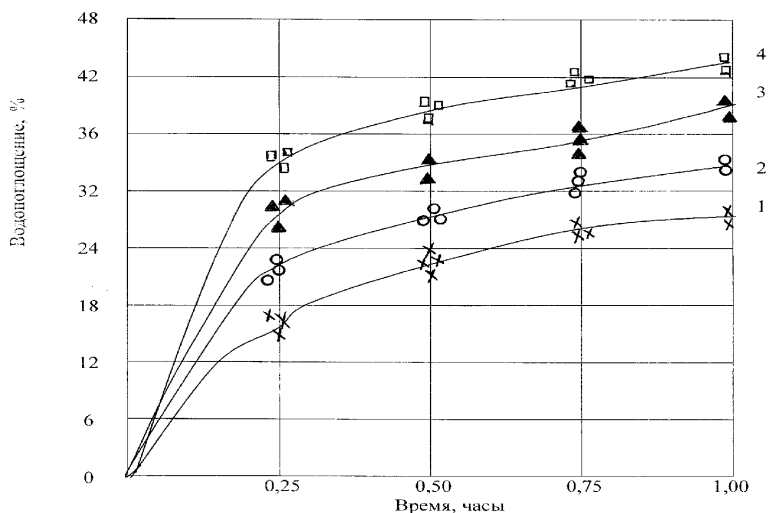


Рис. 3.18. Смачиваемость минерального порошка с добавками в сухой строительной смеси:

1 – без добавок; 2 – с добавкой ПВА; 3 – с добавкой дегидрола; 4 – с добавкой ОАЦП

Учитывая тот факт, что свойства затвердевшего строительного раствора в большей степени зависят от его пористой структуры, которая в свою очередь может быть оценена по величине водопоглощения, были проведены комплексные исследования по определению водопоглощения и влиянию рецептурных факторов на эти показатели. На рис. 3.19 представлены кривые зависимости водопоглощения от состава строительного раствора из сухой смеси с различными минеральными и полимерной добавками. Показано, что минимальным водопоглощением обладают составы с введением полимерной добавки ПВА. Введение отходов асбестоцемента приводит к увеличению величины водопоглощения почти в полтора-два раза.

Далее были проведены исследования по выяснению степени влияния отдельных видов добавок на свойства строительного раствора. На рис. 3.20 и 3.21 представлены графики влияния расхода добавок ПВА и дегидрола на водопоглощение затвердевшего строительного раствора.

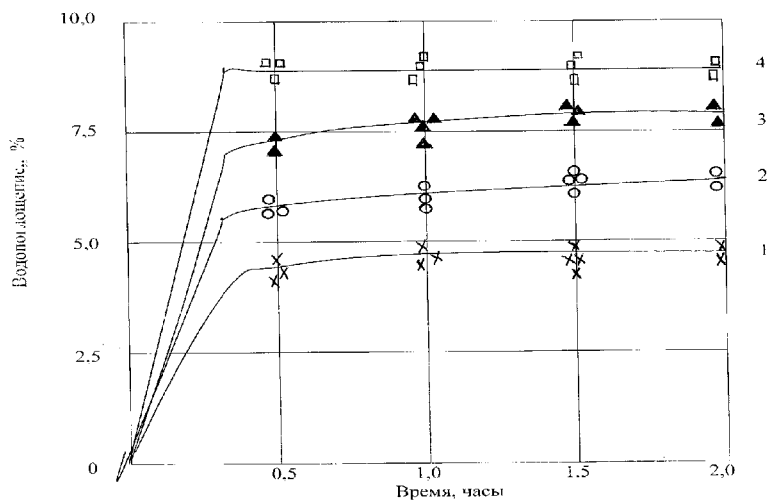


Рис. 3.19. Водопоглощение затвердевшего раствора с минеральными добавками:

1 – с добавкой ПВА; 2 – без добавок; 3 – с добавкой дегидрола; 4 – с добавкой ОАЦП

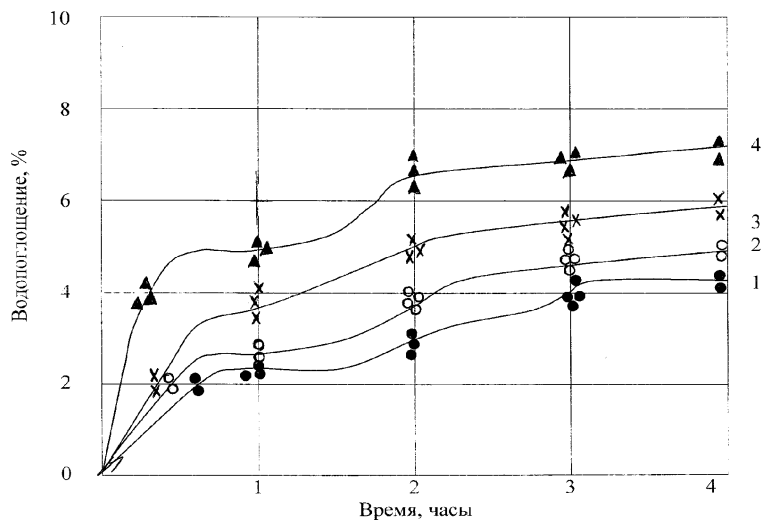


Рис. 3.20. Водопоглощение затвердевшего строительного раствора с добавками: количество дегидрола:

1–5%; 2–3%; 3–1%; 4 – без добавки

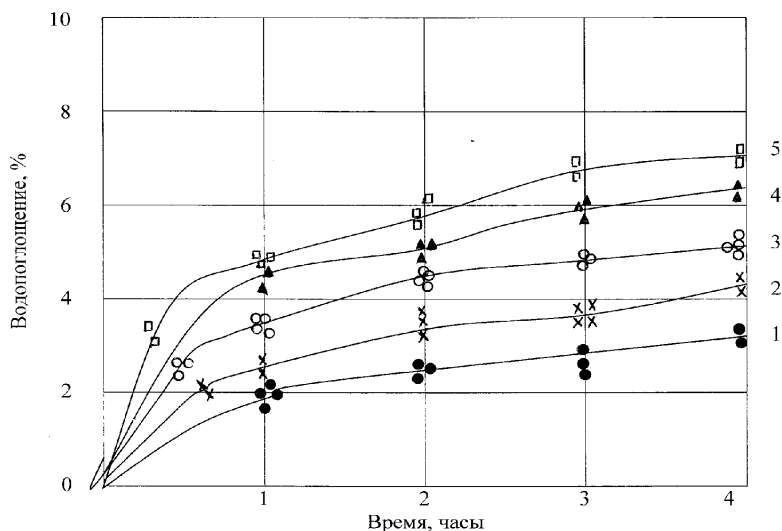


Рис. 3.21. Водопоглощение затвердевшего строительного раствора с добавками: количество ПВА:
1–1,0%; 2–0,75%; 3–0,5%; 4–0,25%; 5 – без добавки

Как следует из анализа приведенных кривых, введение дегидрола в состав сухой строительной смеси положительно влияет на водопоглощение, существенно уменьшая этот показатель для затвердевшего раствора во всех рецептурных интервалах. Этот факт объясняется проникающим действием дегидрола и проявлением кольматации пор. Аналогичный эффект отмечен и при введении ПВА, обеспечивающего не только кольматацию пористого пространства материала, но и придающего гидрофобизирующий эффект затвердевшему строительному раствору.

Таким образом, для снижения величины водопоглощения и, следовательно, снижения пористости, необходимо введение комплекса добавок, способствующих не только достижению одного какого-либо качества строительного раствора, а получению материала с оптимальным набором эксплуатационных свойств. Однако, для выяснения комплексного воздействия добавок на свойства строительного раствора из сухой смеси с раз-

личными компонентами необходимо было выяснить влияние каждой составляющей в сочетании с другими вводимыми веществами на водные свойства затвердевшего конгломерата. На рис. 3.22 представлены кривые водопоглощения затвердевшего строительного раствора с бинарными добавками направленного действия, которые показывают, что при введении ПВА и дегидрола величина водопоглощения минимальная. Отмечена также минимальная гигроскопичность этих составов, т.е. способность капиллярно-пористого материала поглощать из влажного воздуха водяные пары. Известно, что при добавлении отходов асбестоцемента существенно увеличивается водопоглощение, однако добавка ПВА и дегидрола способна снизить эти показатели на 60–75%. Таким образом, комплексное использование добавок направленного действия в сухих строительных смесях позволяет осуществлять регулирование структурных параметров затвердевшего строительного раствора и получать более плотную упорядоченную структуру материала.

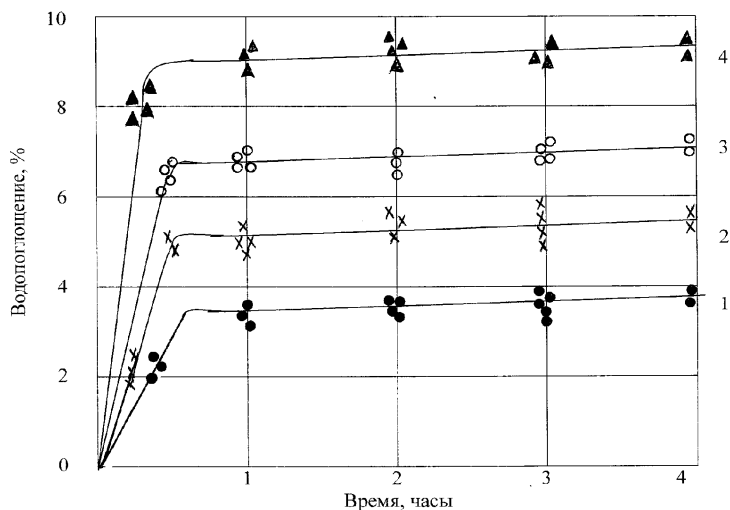


Рис. 3.22. Водопоглощение затвердевшего строительного раствора из сухой смеси с добавками:

1 — добавка ПВА+дегидрол; 2 — то же, + ОАЦП; 3 — добавка дегидрол + ОАЦП;
4 — без добавки

Кроме того, применение комплексных добавок способствует повышению водоудерживающей способности, что очень важно для полной гидратации цемента в растворной композиции для достижения максимальной прочности после твердения. На рис. 3.23 представлены графики водоудерживающей способности строительного раствора с минеральными добавками, из которых следует, что увеличение расхода АЦП способствует высокой водоудерживающей способности. В то же время, добавки дегидрола и ПВА обеспечивают повышенное значение водоудержания при меньшем расходе отходов асбестоцемента, что создает условия для регулирования всех рецептурных параметров.

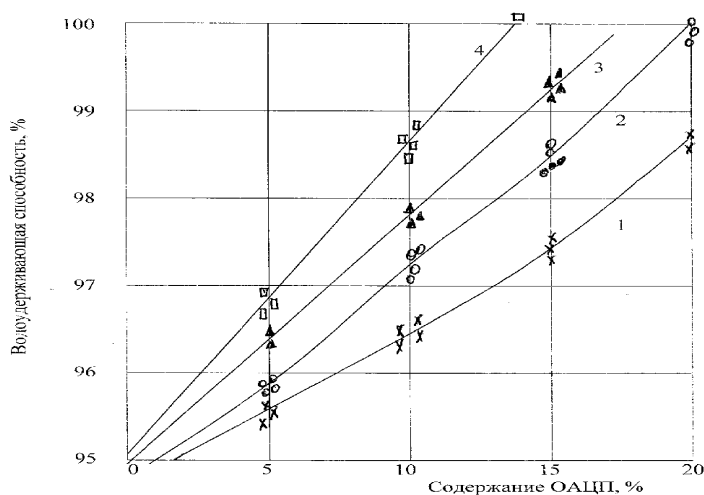


Рис. 3.23. Зависимость водоудерживающей способности от содержания АЦП:

- 1 – без добавок; 2 – добавка дегидрола 2,5%; 3 – то же, + 1 % ПВА;
4 – то же, + 2 % ПВА

Важными эксплуатационными характеристиками затвердевших строительных растворов из сухих смесей являются влагоотдача, т.е. способность материала отдавать влагу в окружающую среду (высушиваться). Показано, что по этому показателю строительные растворы с добавками обладают

хорошей способностью к высушиванию и практически ничем не отличаются от стандартных растворов, приготовленных по традиционной технологии.

Поскольку увлажнение материала изменяет некоторые свойства и, прежде всего, снижает его прочность, были выполнены соответствующие исследования по определению водостойкости. Для численной оценки этого показателя, характеризуемого коэффициентом размягчения Кразм., определяли пределы прочности образцов-балочек в сухом и насыщенном водой состоянии. Коэффициент размягчения вычисляли по формуле: $K_{разм} = R_{нас.}/R_{сух.}$, где $R_{нас.}$ – предел прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии; $R_{сух.}$ – предел прочности при сжатии сухого материала. Материала с коэффициентом размягчения 0,8 и более относятся к водостойким. В табл. 3.6 представлены свойства строительных растворов с различными полимерными добавками.

Таблица 3.6

Свойства растворов из сухих смесей с полимерными добавками

№ состава	Содержание добавки	Предел прочности, МПа		Водопоглощение по массе, %	Коэффициент размягчения
		при сжатии	при изгибе		
1	2	3	4	5	6
	<u>метилцеллюлоза</u>				
1	0,00	4,25	1,08	8,5–13,8	0,52
2	0,25	4,38	1,13	8,3–12,6	0,62
3	0,50	4,57	1,28	6,2–10,3	0,74
4	0,75	4,71	1,53	6,1–8,5	0,81
5	1,00	4,75	1,72	5,0–7,4	0,88
	<u>ПВА</u>				
6	0,00	4,25	1,08	8,5–13,8	0,52
7	0,25	4,31	1,17	8,1–12,2	0,57
8	0,50	4,46	1,53	5,8–9,6	0,82
9	0,75	4,88	1,79	5,4–7,1	0,87
10	1,00	5,92	2,04	3,9–5,8	0,89

Окончание табл. 3.6

1	2	3	4	5	6
	<u>Виннапас</u>				
11	0,00	4,25	1,08	8,5–13,8	0,52
12	0,25	4,42	1,85	8,3–12,4	0,64
13	0,50	4,67	1,64	5,9–10,1	0,77
14	0,75	5,03	1,73	5,7–8,2	0,83
15	1,00	5,79	1,89	4,3–6,4	0,86

Анализируя приведенные данные, следует отметить, что введение полимерной добавки ПВА в количестве 0,5% от массы цемента способствует повышению коэффициента размягчения до требуемых параметров (0,8) и уменьшению водопоглощения затвердевшего строительного раствора почти в два раза. При расходе этой полимерной добавки в количестве 1,0% отмечается увеличение водостойкости до 0,89 при одновременном повышении прочности при сжатии и изгибе.

Для многих эксплуатационных условий важным показателем является водонепроницаемость, т.е. способность материала не пропускать через себя воду под давлением. Она определяется на специальных приборах и численно характеризуется количеством воды, прошедшей за единицу площади образца определенной толщины при заданном давлении. Повышенные требования по водонепроницаемости предъявляются к материалам для гидротехнических сооружений (плотины, причальные стенки и др.), трубам, резервуарам, выполняемых обычно из бетона и железобетона (кроме труб и резервуаров из стали). В нашем случае этот показатель может быть заменен на паропроницаемость затвердевшего раствора. Показано, что введение дегидрола существенно снижает этот показатель для всех исследуемых рецептур (рис. 3.24).

В соответствии с приведенными в главе 2 методическими рекомендациями по назначению рецептур и качественных характеристик строительных растворов из сухих смесей, был осуществлен комплекс испытаний образцов и определены основные свойства различных составов.

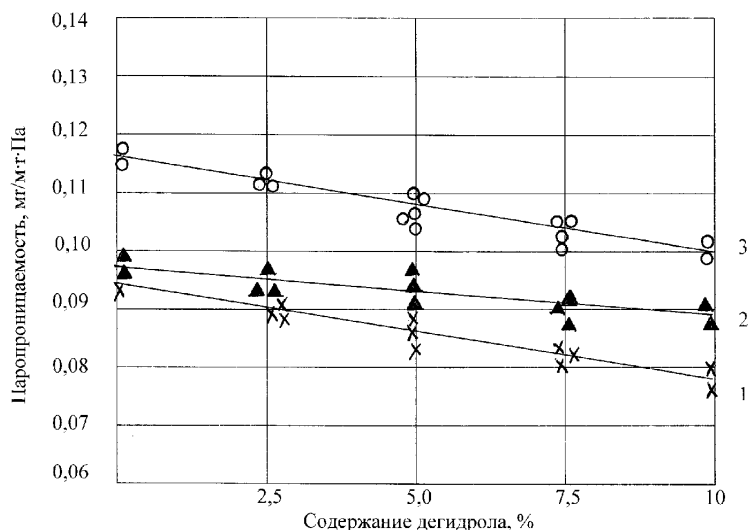


Рис. 3.24. Влияние содержания добавки дегидрола на паропрооницаемость затвердевшего раствора:

1 – расход цемента 25%; 2 – то же, 20%; 3 – то же, 15%

Основные показатели этих свойств приведены в табл. 3.6 и 3.7, а также проиллюстрированы на графиках в разделах 3.2–3.4. Дополнительными характеристиками могут быть эксплуатационные показатели прочности строительного раствора при изменениях температуры в широком диапазоне – от $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этом случае для водонасыщенных образцов материала отмечено резкое снижение прочности при сжатии и изгибе, однако, после подъема температуры до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ процесс почти выравнивается (рис. 3.25, 3.26).

Обеспечение требуемых параметров прочности строительного раствора при изгибе может быть осуществлено за счет введения определенного количества микроармирующей добавки – отходов асбестоцемента. На рис. 3.27 представлены кривые влияния расхода асбестоцемента на прочность при изгибе при комплексном введении добавок направленного действия.

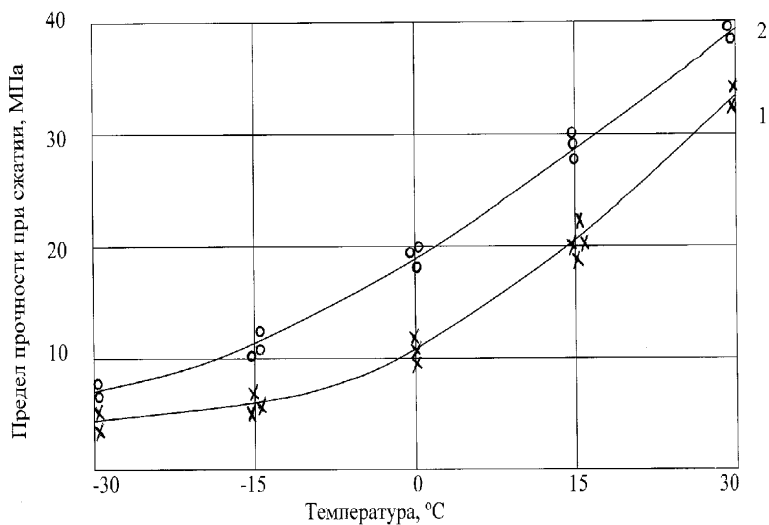


Рис. 3.25. Влияние температуры твердения строительного раствора на прочность при сжатии:

1 – без добавки; 2 – с добавкой

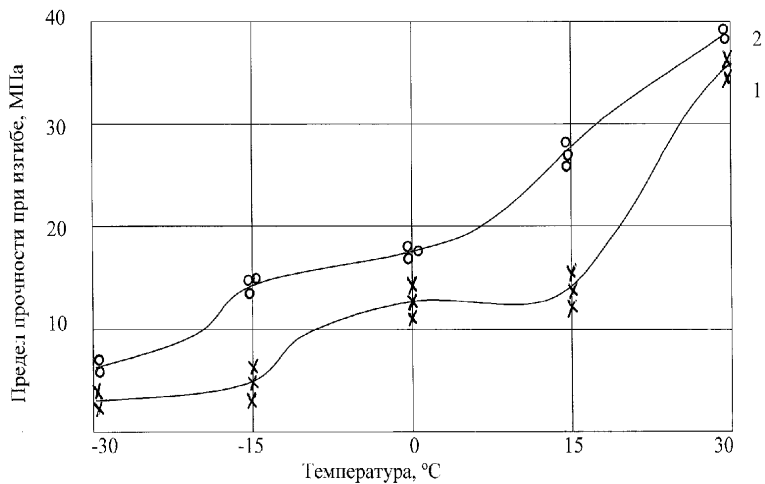


Рис. 3.26. Влияние температуры твердения строительного раствора на прочность при изгибе:

1 – без добавок; 2 – с добавкой

Ризг., МПа

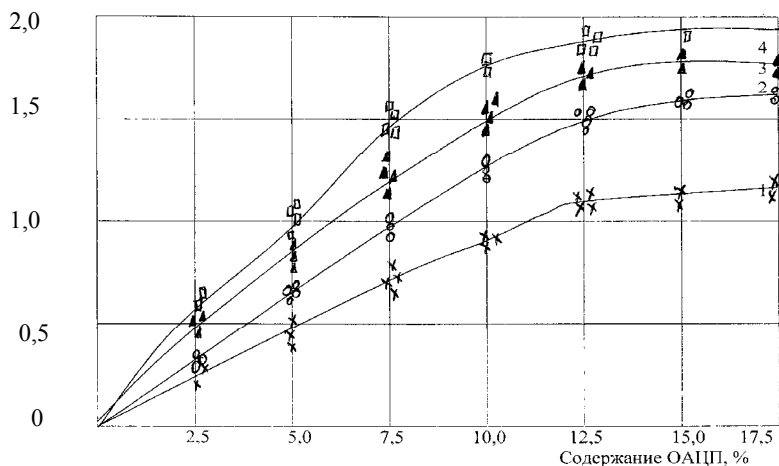


Рис. 3.27. Влияние расхода ОАЦП в составе сухой растворной смеси на предел прочности при изгибе:

1 — без добавок; 2 — добавка дегидрола 1%; 3 — то же, 3%; 4 — то же, 5%

Прочность строительных растворов из сухих смесей оценивается не только по физическим свойствам самих материалов, но и показателями возможностью сцепления с основой для штукатурных составов и соединительной или адгезионной прочности для кладочных композиций. При этом важным моментом является температура наружного воздуха, при которой производятся строительные-монтажные или каменные работы. На рис. 3.28 представлены кривые влияния температуры твердения строительного раствора на прочность сцепления с каменной поверхностью.

Так, при отрицательных температурах прочность сцепления достигается, в основном, за счет замерзания воды, находящейся в растворе и на каменной поверхности. При положительных температурах отмечается нарастание прочности по мере повышения температур, однако при достижении 25–30 °С адгезионная прочность почти не растет по причине интенсивного высыхания раствора. Обезвоживание

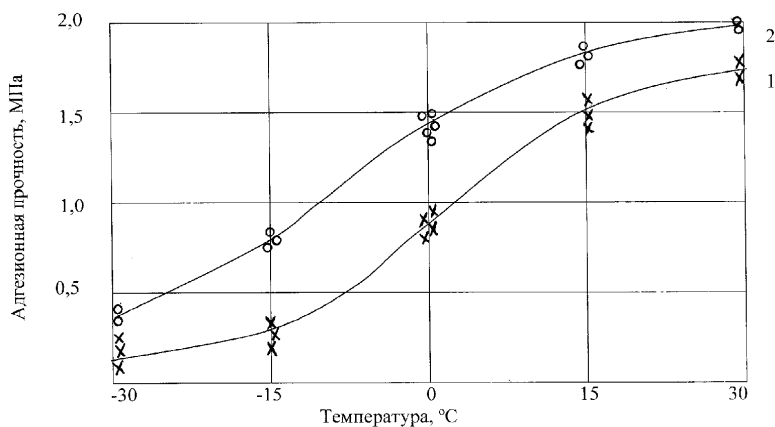


Рис. 3.28. Влияние температуры твердения строительного раствора на прочность сцепления с бетонной поверхностью

1 — без добавки; 2 — с добавкой

приводит к снижению степени гидратации и, как следствие, к неполному набору прочности цемента. Введение добавок направленного действия оказывает положительное влияние на свойства затвердевшего строительного раствора и обеспечивает повышение адгезионной прочности во всем диапазоне исследуемых температур. Кроме того, применение минеральных добавок (ОАЦП) и дегидрола способствует повышению сопротивляемости материала к воздействию эксплуатационных нагрузок. В результате проведенных опытов выявлена зависимость деформации затвердевшего строительного раствора от длительности и характера воздействующих усилий на сжатие и растяжение при изгибе (рис. 3.29). Таким образом, в результате проведенных исследований установлено влияние на величину деформации строительного раствора с минеральными добавками направленного действия таких факторов, как количество цемента, содержание отходов асбестоцементного производства и дегидрола, а также степень уплотнения и условия твердения. Показано, что введение минеральных добавок существенно снижает величину деформации при всех воздействующих факторах.

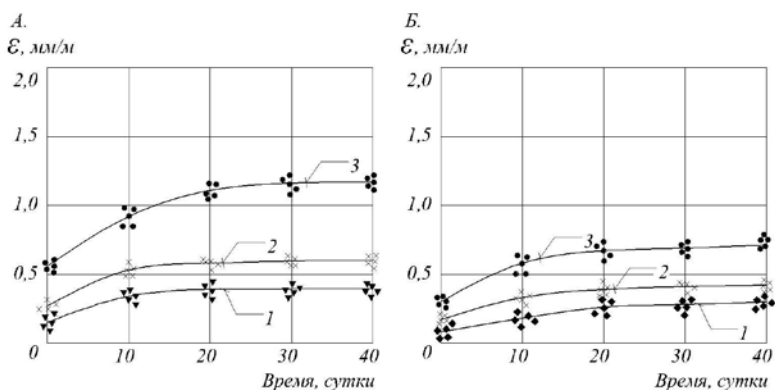


Рис. 3.29. Деформации ползучести затвердевшего строительного раствора:

А – без добавок; Б – с добавкой ОАЦП и дегидрола; 1 – при нагрузке, составляющей 20% от разрушающей; 2 – то же, 40% от разрушающей; 3 – то же, 80% от разрушающей

Полученные качественные зависимости позволяют осуществлять регулирование составов строительных растворов в целях снижения процесса усадки и трещино-образования. Практические величины усадки и деформации при воздействующих факторах могут быть определены по стандартным формулам с учетом вида заполнителей и минеральных добавок, а также расхода цемента при оптимальной (расчетной) влажности.

Таким образом, можно сделать вывод о достаточно высоких эксплуатационных параметрах строительных растворов из сухих смесей с добавками направленного действия по сравнению с контрольными составами, приготавливаемыми без специальных добавок. Отмеченные высокие характеристики прочности, водостойкости, адгезионной способности, трещиностойкости и других показателей достигаются за счет микроармирующего эффекта при введении ОАЦП, проникающей и кольматирующей роли добавки дегидрола и гидрофобизирующей и связывающей способности ВАЭ.

3.5. Оптимизация состава и технологических параметров изготовления сухих строительных смесей

Использование минеральных зернистых заполнителей способствует уменьшению усадочных деформаций конгломератных материалов на основе цемента и других вяжущих веществ. В композициях с содержанием микроармирующих волокон происходит армирование, способствующее уменьшению усадочных деформаций во всех направлениях. Проведенные исследования подтвердили данное предположение для строительных растворов из сухих смесей и показали, что на величину усадки влияет количество и геометрические размеры минерального волокнистого компонента и содержание вяжущего вещества.

Как следует из ранее представленных графиков, усадка строительного раствора зависит от содержания минеральных микроармирующих добавок и степени уплотнения материала. В свою очередь, максимального уплотнения можно достичь при пластификации растворной смеси полимерными добавками. Так, введение отходов асбестоцемента в состав сухой строительной смеси уменьшает деформации усадки на 35–75 %. Введение специальной добавки дегидрола также способствует уменьшению усадочных деформаций на 20–35 %. Установлено, что для каждого состава строительного раствора имеются оптимальные значения расхода цементного вяжущего, обеспечивающие минимальную усадку материала. Данный процесс усугубляется неравномерностью распределения цементного вяжущего по поверхности частиц песка и волокон асбестоцемента.

Известно, что средняя усадка строительных растворов составляет $0,9\text{--}1,1 \times 10^{-5}$, поэтому в результате усадки неизбежно произойдет интенсивное трещинообразование. Введение микроармирующих добавок – отходов асбестоцементного производства – способствует снижению усадки.

Таким образом, интенсивность трещинообразования может быть снижена в 1,5–2,0 раза, хотя вероятность появления усадочных трещин полностью не исключается.

Кроме деформации усадки в затвердевшем строительном растворе могут возникать деформации и трещины от воздействия эксплуатационных нагрузок. Отмечено, что фактическая прочность конгломератных материалов, в т.ч. строительных растворов из сухих смесей, значительно ниже теоретической, рассчитанной исходя из сил межмолекулярного взаимодействия. Объяснение этого расхождения впервые было высказано А. Гриффитом, который предположил наличие в твердом теле зародышевых трещин и показал, что напряжения в их вершинах совпадают с теоретической прочностью материала, а средние напряжения, приложенные к материалу в момент разрушения, являются мерой его технической прочности.

С целью определения оптимального состава цементных растворных композиций с отходами АЦП в работе реализованы матрицы планирования эксперимента второго порядка и получены уравнения регрессии, описывающие параметры оптимизации.

Для каждой независимой переменной были установлены соответствующие пределы варьирования: расход цемента от 200 до 300 кг/м³ (фактор X_1); добавка отходов АЦП от 5 до 15 % (фактор X_2); добавка дегидрола в количестве от 1 до 3 % от массы цемента (фактор X_3); расход полимерной клеевой композиции ПВА от 0,5 до 1,5 % от массы цемента (фактор X_4); плотность строительного раствора от 1000 до 1200 кг/м³ (фактор X_5). Учитывая ранее полученные данные по определению влияния отдельных компонентов на качественные характеристики затвердевшего строительного раствора, а также для упрощения процесса оптимизации по реализации эксперимента выбран трехуровневый ортогональный план второго порядка для трех факторов:

- X_1 – расход цемента;
- X_2 – расход отходов асбестоцементного производства;
- X_3 – совместный расход специальной добавки дегидрол и ВАЭ.

Было исследовано влияние отдельных компонентов на следующие свойства растворной смеси и готового раствора:

Y_1 – предел прочности строительного раствора при сжатии, МПа;

Y_2 – предел прочности при изгибе, МПа;

Y_3 – прочность сцепления с бетонным основанием (адгезия), МПа;

Y_4 – деформации при изменении температуры окружающей среды от +50 до –40 °С, мм/м;

Y_5 – влажностные деформации защитного покрытия при изменении влажности, мм/м.

В результате выполненной оптимизации получен ряд уравнений регрессии, описывающих взаимосвязь между рецептурой растворной композиции с добавками направленного действия и её свойствами. Получены адекватные математические модели, описывающие закономерности изменения указанных свойств от количественного содержания компонентов:

$$Y_1 = 10,27 + 0,232X_1 - 0,281X_2 + 0,139X_3 + 0,035X_1^2 - 0,182X_2^2 - 0,124X_3^2;$$

$$Y_2 = 1,47 + 0,943X_1 + 0,362X_2 - 0,064X_3 + 0,031X_1X_2 - 0,112X_2X_3 + 0,019X_1^2 + 0,038X_2^2 + 0,096X_3^2;$$

$$Y_3 = 1,31 + 0,154X_1 - 0,107X_2 + 0,039X_3 + 0,071X_1X_2 - 0,101X_2X_3 + 0,017X_1^2 + 0,052X_3^2;$$

$$Y_4 = 0,712 + 0,044X_1 + 0,027X_2 - 0,092X_3 - 0,065X_2^2;$$

$$Y_5 = 1,025 + 0,119X_1 + 0,198X_2 - 0,131X_3 - 0,057X_1X_2 + 0,012X_1X_3 - 0,206X_2X_3 + 0,029X_1^2 - 0,124X_2^2 + 0,105X_3^2.$$

В результате комплексного анализа полученных данных были установлены оптимальные содержания компонентов для состава сухой строительной смеси: на 100 массовых частей суммарного содержания сухой строительной смеси средний расход компонентов составит:

(X_1) – цемент – 22–26

(X_2) – отходы асбестоцемента (ОАЦП) – 9,5–11,5

(X_3) – специальная добавка «дегидрол» – 1,5–2,5;

(X_4) – добавка ВАЭ – 0,75–1,25.

В табл. 3.7–3.9 представлены рекомендуемые составы, а в табл. 3.10 основные свойства строительных растворов из сухих смесей.

Таблица 3.7

**Состав № 1 сухой строительной смеси для монтажных работ
и каменной кладки из бетонных блоков ($K = 0,9-1,2 \times 10^{-5} 1/^{\circ}C$)**

Компоненты сухой смеси	Расход материалов на м ³ строительного раствора	
	кг	%
Кварцевый песок	840–950	71,56
Цемент	280–300	23,40
Отходы АЦП	50–70	4,80
Дегидрол	2,0	0,16
ВАЭ	1,0	0,08

Таблица 3.8

**Состав № 2 сухой строительной смеси для каменной кладки
из силикатного кирпича и легкобетонных блоков
($K = 0,7-1,0 \times 10^{-5} 1/^{\circ}C$)**

Компоненты сухой смеси	Расход материалов на м ³ строительного раствора	
	кг	%
Кварцевый песок	750–790	66,50
Цемент	260–270	23,74
Отходы АЦП	100–120	9,50
Дегидрол	2,0	0,16
ВАЭ	1,0	0,08

Таблица 3.9

**Состав № 3 сухой строительной смеси для каменной кладки
из керамического кирпича и газобетонных блоков
($K = 0,6-0,8 \times 10^{-5} 1/^{\circ}C$)**

Компоненты сухой смеси	Расход материалов на м ³ строительного раствора	
	кг	%
Кварцевый песок	630–660	62,50
Цемент	230–250	22,26
Отходы АЦП	140–170	15,00
Дегидрол	2,0	0,16
ВАЭ	1,0	0,08

Оптимизация данных позволила снизить трещинообразование в контактной зоне заполнителя и цементной матрицы.

В результате статистической обработки данных получены адекватные (при уровне значимости 95 %) уравнения регрессии.

Таблица 3.10

Основные свойства строительных растворов из сухих смесей

№ п.п.	Свойства	Ед. изм.	Показатели по составам		
			№ 1 Мар-ка Мр100	№ 2 Мар-ка Мр75	№ 3 Мар-ка Мр 50
1	Плотность	кг/м ³	1200–1400	1000–1200	800–1000
2	Предел прочности при: сжатии изгибе	МПа МПа	10,0–12,3 1,4–1,6	7,6–8,5 1,8–2,6	5,2–7,1 1,7–2,4
3	Трещиностойкость по прочности на удар	МПа	3,8–5,9	4,6–6,1	4,9–6,7
4	Усадка	мм/м	0,35–0,45	0,30–0,40	0,25–0,35
5	Деформация ползучести при 80 % нагрузке	мм/м	0,4–0,6	0,5–0,7	0,6–0,8
6	Истираемость	г/см ²	0,04–0,06	0,06–0,08	0,08–0,12
7	Адгезия к бетонному и каменному основанию	МПа	1,4–1,8	1,3–1,6	1,1–1,4
8	Коэффициент теплопроводности	Вт/(м °С)	0,65–0,78	0,42–0,56	0,31–0,48
9	Сорбционное увлажнение	%	1,7–2,5	2,2–2,9	3,4–4,1
10	Водопоглощение	%	3,3–4,7	4,2–5,6	5,5–6,8
11	Морозостойкость	Кол-во циклов	100	50	25

Анализ полученных моделей показывает, что наибольшее влияние на свойства оказывают расход отходов АЦП и цемента, а также степень уплотнения затвердевшего раствора. Было исследовано формирование прочности затвердевшего строительного раствора из сухой смеси с минеральными добавками. Большую часть прочностных показателей строительный раствор приобретает в течение двух-трех недель, после чего процесс выравнивается, и дальнейший набор прочности происходит значительно медленнее. Оптимизация составов

позволила снизить трещинообразование затвердевшего строительного раствора благодаря введению минеральных добавок направленного действия при минимальном расходе цементного вяжущего, а также выработать необходимые рекомендации для проектирования составов сухой строительной смеси с микроармирующими минеральными добавками.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Разработаны оптимальные составы сухой строительной смеси на основе местных песков с добавками направленного действия: отходами асбестоцемента, дегидролом и ВАЭ.

2. Проведены испытания различных физико-механических, физико-химических и эксплуатационных свойств полученного материала, которые показали достаточно высокие качества и устойчивость к большинству нагрузок и воздействий; проведена оптимизация составов сухих строительных смесей для целевого использования.

3. По показателям коэффициентов линейного температурного расширения определены оптимальные рецептурные параметры для строительных растворных смесей, предназначенных для использования при устройстве каменной кладки или выполнении монтажных работ из различных каменных материалов (основаниях).

4. Изучены деформативные и адгезионные свойства разработанных композиций и показана хорошая сопротивляемость воздействиям воды и отрицательных температур.

5. Показаны пути увеличения адгезионных показателей строительных растворных смесей за счет введения специальной проникающей добавки дегидрол в совокупности с ВАЭ, что обеспечивает прочность и высокую устойчивость затвердевших строительных растворов в условиях повышенного увлажнения и воздействия знакопеременных температур.

6. Исследована длительная стойкость композиций при разрушающих нагрузках на растворобетонных образцах в различных средах. Показана положительная роль микроармирующей добавки отходов асбестоцемента, придающей высокую сопротивляемость материала внешним деформациям.

Глава 4

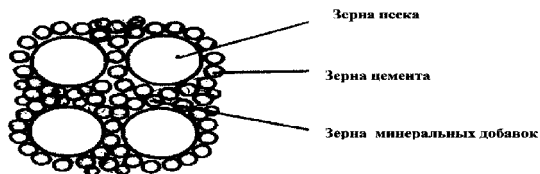
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ИЗ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С КОМПЛЕКСНЫМИ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

4.1. Разработка модели работы строительного раствора из сухих строительных смесей с добавками

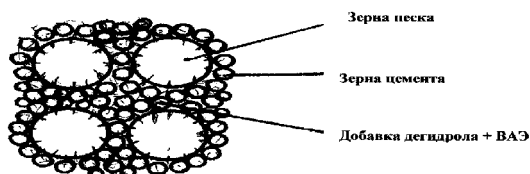
Долговечность строительных растворов в конструкциях зданий определяется их расположением в частях сооружений и воздействующими на них факторами климатического и эксплуатационного характера. Эксплуатационные среды могут существенно изменять их физические, химические, физико–химические и прочие свойства вследствие протекания химической деструктивных процессов, сорбции компонентов среды, изменения структуры и растворения отдельных фрагментов. Результатом химической деструкции является распад нестойких связей под воздействием реакционно-способных компонентов, что обуславливает преждевременный выход из строя не только затвердевшего строительного раствора, но и соединяемых им элементов.

При проектировании и моделировании ограждающих и других конструкций зданий необходимо учитывать вид и степень воздействия среды и реального расположения конструктивного элемента в помещении. При этом обязательно учитываются следующие основные параметры конструкций: прочность, плотность и пористость материала; наличие арматуры, ее защиты и величины защитного слоя; подверженность коррозионному разрушению и др. Естественно предположить, что такие неоднородные материалы как бетон, кирпич красный и силикатный, газобетон и др. будут иметь большой разброс срока службы, который в силу нестабильности характеристик исходного сырья, будет неуклонно снижаться за счет огромного числа дефектов на микро- и макроуровнях, что коррелирует со значениями их суммарной пористости.

СТАНДАРТНЫЙ СОСТАВ



СОСТАВ С ДОБАВКОЙ ДЕГИДРОЛА



СОСТАВ С ДОБАВКОЙ ДЕГИДРОЛА НА КАМЕННОМ ОСНОВАНИИ

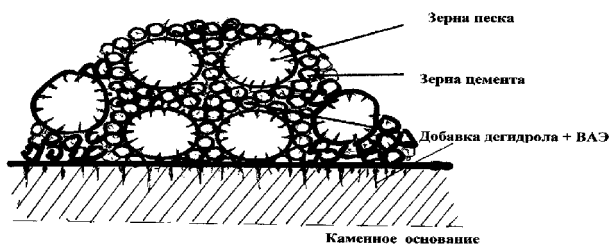


Рис. 4.1. Модель работы компонентов сухой строительной смеси

Материалы с различной диффузионной проницаемостью обладают различной коррозионной стойкостью и, следовательно, при направленном изменении диффузионных параметров может быть осуществлено регулирование их эксплуатационных свойств и долговечности. Выше, на рис. 4.1 представлена модель работы строительного раствора с добавками направленного действия.

4.2. Исследование массопереноса в затвердевших строительных растворах и их пористой структуры

Условия эксплуатации строительных конструкций различных зданий и сооружений в условиях Сибирского климата отличаются повышенным содержанием влаги, газов, что при-

водит к интенсивному разрушению (деградации) материалов практически во все времена года при большом интервале температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом наиболее очевидным фактором разрушения являются процессы массопереноса [33–36, 49, 80, 102].

В общем случае при малой концентрации диффундирующего вещества скорость диффузии (диффузионный поток) пропорциональна градиенту концентрации ∇C и имеет противоположное ему направление:

$$j_i = -\rho \times D \times \nabla C_i = -D \times \nabla \rho_i \quad (4.1)$$

где j_i – диффузионный поток, т.е. поток массы данного компонента через единичную площадку в единицу времени;

D – коэффициент диффузии;

ρ – полная плотность смеси;

ρ_i – парциальная плотность одного компонента.

Анализ литературных источников показывает, что процессы массопереноса оказывают большое влияние на стойкость и долговечность строительных материалов, в том числе и искусственных строительных конгломератов, работающих в условиях воздействия эксплуатационных сред.

Показатели диффузионной проницаемости веществ являются важными для защитных композиций и материалов, работающих в условиях воздействия эксплуатационных сред. Для косвенной оценки показателей массопереноса экспресс-методом служит метод капиллярной пропитки, предложенный В.М. Казанским и И.Ю. Петренко [102, 116, 120], теоретической основой которого является параболическое уравнение массопереноса в изотермических условиях:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \nabla (a_m \cdot \nabla U). \quad (4.2)$$

Метод капиллярной пропитки достаточно удобен для измерения на его основе коэффициента переноса влаги, так как в этом случае массоперенос почти не осложнен теплопереносом. Для решения уравнения (4.2) вводится интегральный параметр:

$$\psi = \frac{1}{l^2} \int_0^{\tau} d_m(\tau) d\tau, \quad (4.3)$$

который при $d_m = \text{Const}$ совпадает с числом Фурье:

$$F = \frac{a_m \cdot \tau}{l^2} \quad (4.4)$$

и тогда (4.3) сводится к дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами:

$$\frac{\partial U(x, y, z, \tau)}{\partial \psi} = l^2 \cdot \Delta^2 U(x, y, z, \tau). \quad (4.5)$$

После соответствующих преобразований получены основные расчетные формулы, представляющие собой зависимости среднего по объему массосодержания U образца от времени τ , позволяющие рассчитать коэффициент $a_m(U)$ массопереноса, который для случая одномерной пропитки может иметь следующий вид:

$$a_m = \frac{\pi \cdot l_1^2}{16} \cdot \frac{dv^2}{d\tau} \quad \text{при } 0 \leq v \leq 0,48 \quad (4.6)$$

$$a_m = -\frac{l_1^2}{\pi^2} \cdot \frac{d \ln(1-v)}{d\tau} \quad \text{при } 0,48 \leq v \leq 1 \quad (4.7)$$

где $v = U/U_m$ – относительное массосодержание образца;

U_m – максимальное массосодержание образца;

l_1 – толщина образца, при обеспечении одномерной пропитки образца, достигаемой влагоизоляцией его боковых сторон.

По результатам измерений рассчитывалось максимальное массосодержание образцов по формуле:

$$U_m = \frac{P_m - P_0}{P_0}, \quad (4.8)$$

а также относительное массосодержание в различные моменты времени по формуле:

$$\nu = 1 - \frac{F_m - F}{P_m - P_0}. \quad (4.9)$$

Для всех значений $\nu < 0,48$ вычисляли вспомогательную величину ν^2 , а для $\nu > 0,48$ – вспомогательную величину $\ln(1 - \nu)$. По результатам вычислений строились графики зависимости $\nu^2 = f_1(\tau)$ и $\ln(1 - \nu) = f_2(\tau)$, которые путем графического дифференцирования кривых с помощью формул (4.8) и (4.9) позволили вычислить коэффициент массопереноса a_m для разных моментов времени. Окончательным результатом исследований являются графики зависимости коэффициента массопереноса a_m от среднего относительного массосодержания ν образца в совокупности с измеренным значением максимального массосодержания U_m и проницаемостью (рис. 4.2) [80, 102].

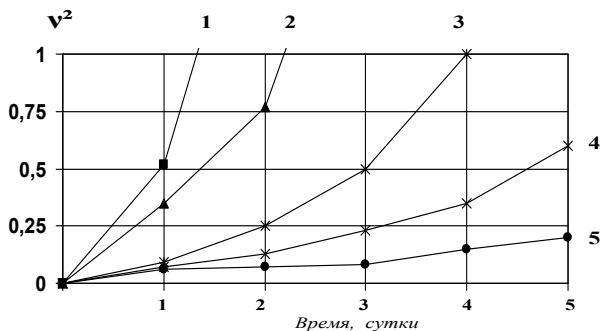


Рис. 4.2. Характеристики массопереноса в материалах (степень массонасыщения – коэффициент массопереноса):

- 1 – на керамзитовом песке без добавки; 2 – то же, на кварцевом песке;
- 3 – то же, с добавкой ОАЦП; 4 – то же, + ПВА; 5 – то же, + дегидрол

По вышеприведенным методикам определялись характеристики массопереноса в материалах и делались выводы об их соответствии и стойкости в реальных эксплуатационных средах сельскохозяйственного производства (рис. 4.2). С учетом

анализа полученных характеристик в виде основных кинетических зависимостей по распределению показателей от времени воздействия эксплуатационной среды на строительный раствор можно сделать следующие выводы. Характерные кривые зависимости диффузионных показателей от свойств и параметров защитной композиции для строительных растворов с учетом сопротивляемости воздействию эксплуатационных сред зависят от многих факторов: водопоглощения, проницаемости, толщины растворного покрытия, температуры, общей и скрытой пористости.

Снижение степени массопереноса строительных растворов из сухих смесей связано с добавкой дегидрола и ПВА, оказывающих существенное влияние на пористую структуру цементного камня в растворной смеси (табл. 4.1). Отмечено, что при введении отходов асбестоцемента значительно увеличивается удельная поверхность пор (с 11–17 м²/г до 31–32 м²/г), общая суммарная пористость с 0,069–0,168 см²/г, объем микропор с 0,004–0,008 до 0,012 см³/г. В табл. 4.1 приведены показатели пористости контактных зон цементного камня с различными добавками направленного действия.

При введении добавок направленного действия, в частности проникающей композиции дегидрол, может быть осуществлено регулирование параметров микропористости и диффузионной проницаемости. Это обеспечивает решение проблемы увеличения долговечности материала в конкретных эксплуатационных условиях.

На рис. 4.3 представлены кривые структурной пористости образцов цементного камня в строительных растворах из сухих смесей, из которых следует, что при введении дегидрола и ПВА большая часть объема пористой структуры переходит в зону пониженного размера пор. Это обеспечивает дополнительную стойкость материала за счет уменьшения проницаемости цементного камня водой, что отражено на графике (рис. 4.3, кривая 3).

Таблица 4.1

**Показатели пористости контактной зоны на заполнителе
в строительном растворе**

№ п.п.	Наименование и краткая характеристика образца	Суммарная пори- стость, см ³ /г	Удельная по верх- ность, м ² /г		Объем микропор (r<2 нм), см ³ /г	Эффективный радиус микропор, нм	Объем пор r=2–20 нм, см ³ /г
			по интер- ферометру	по БЭТ			
1	Цементный камень из строительного раствора на кварцевом песке без добавок	0,069	17	11	0,004	1,0–2,0	0,075
2	Цементный камень из строительного раствора на керамзитовом песке без добавок	0,168	15	19	0,008	1,0	0,093
3	Цементный камень из строительного раствора на шлаковом песке без добавок	0,124	13	16	0,007	1,0–2,0	0,097
4	Цементный камень из строительного раствора на кварцевом песке с добавкой отходов АЦП	0,440	32	31	0,012	1,0–4,0	0,092
5	Цементный камень из строительного раствора на кварцевом песке с добавкой ПВА	0,027	13	13	0,004	1,0–2,0	0,096
6	Цементный камень из строительного раствора на кварцевом песке с добавкой дегидрола	0,061	11	7	0,006	1,0–4,0	0,124
7	Цементный камень из строительного раствора на кварцевом песке с добавкой отходов АЦП, ПВА и дегидрола	0,043	14	12	0,007	1,0–2,0	0,166

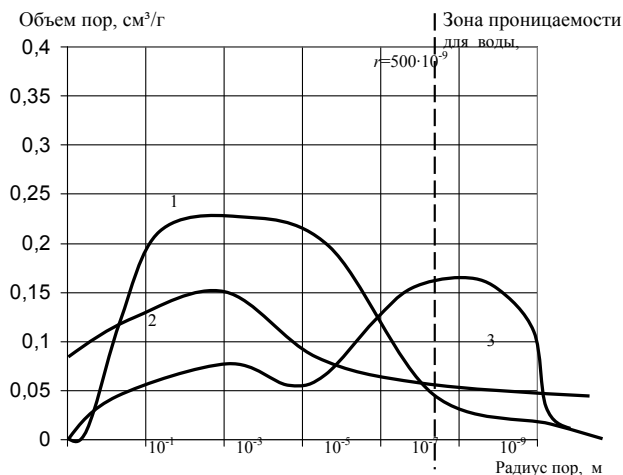


Рис. 4.3. Пористая структура цементного камня с добавками направленного действия:

1 – без добавок; 2 – с добавкой дегидрола; 3 – то же, с добавкой дегидрола и ПВА

Данная рецептура строительного раствора обеспечивает высокую эксплуатационную стойкость и непроницаемость в химических средах при ускоренных испытаниях (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Диффузионные характеристики строительных растворов из сухих смесей с добавкой дегидрола и ПВА

Химические среды	Коэффициент		Поглощение химических реагентов, %
	Диффузии D , см ³ /см	Проницаемости см/см ³	
Вода	0,43	0,08	0,26
Соляная кислота	0,61	0,23	0,74
Серная кислота	0,72	0,49	2,94
Углекислота	0,34	0,31	0,83
Аммиак	0,98	0,52	0,87

Микро- и переходная пористость наиболее высока у затвердевшего цементного теста без соответствующих добавок, что объясняется значительно большим объемом вяжущего

в растворах на единицу материала по сравнению с традиционными тяжелыми бетонами. Измерения переходной и макропористости для затвердевших минеральных вяжущих на границе с минеральными компонентами показали, что наименьший объем таких пор имеют цементный камень без добавок. Структура его в основном является макропористой, что подтверждается наименьшей внутренней удельной поверхностью при очень высокой суммарной пористости (рис. 4.3, кривая 1).

Интегральные и дифференциальные структурные кривые порометрических испытаний наглядно характеризуют пористую структуру цементного камня в строительном растворе с добавками. Основной объем падает на макропоры с радиусом более 10^{-7} м. Макропористость структуры цементного камня подтверждается дифференциальными кривыми распределения объемов пор по их радиусам с ярко выраженным максимумом, лежащим в области пор с радиусом более 500 нм. Она соответствует зоне возможной фильтрации воды. Эта особенность структуры совместно с физико-химическими свойствами обуславливают низкую водо- и морозостойкость цементных материалов (рис. 4.3 кривая «1»).

При этом мельчайшие поры и капилляры (более крупные по диаметру, чем поры) образуются в гелевой фазе затвердевших вяжущих. Введение добавки дегидрола способствует кольматации макропор и переводу их в область микропористой структуры, о чем свидетельствует появление максимума при 10^{-9} м на кривой «3» на рис. 4.3.

4.3. Исследование структуры строительных растворов из сухих смесей

С учетом сложной полиминеральной структуры на границе отдельных песчаных частицах были проведены исследования по изучению структуры в системах: «отходы АЦП», «цементный камень – отходы АЦП» «цементный камень – отходы АЦП – добавка дегидрол». При этом, были детально изучены все возможные варианты и сочетания компонентов, входящих в строительные растворы из сухих смесей с добавками направленного действия и установлена степень влияния (улучшения

или ухудшения свойств) добавок на свойства материала. Предварительно были определены исходные свойства каждого компонента, а также бинарные и тройные смеси из них.

Дифференциально-термический анализ

Методом дифференциально-термического анализа (ДТА) были изучены образцы затвердевшего цементного раствора, полученного из сухих смесей рекомендованных составов. Основной целью данных исследований явилось выявление влияния вводимых добавок: отходов асбестоцемента, проникающей композиции дегидрол и ПВА на структуру искусственного камня. На рис. 4.4–4.6 представлены кривые дифференциального термического анализа исходного сырья для сухих строительных смесей, а также бинарных и тройных компонентов затвердевшего цементного камня.

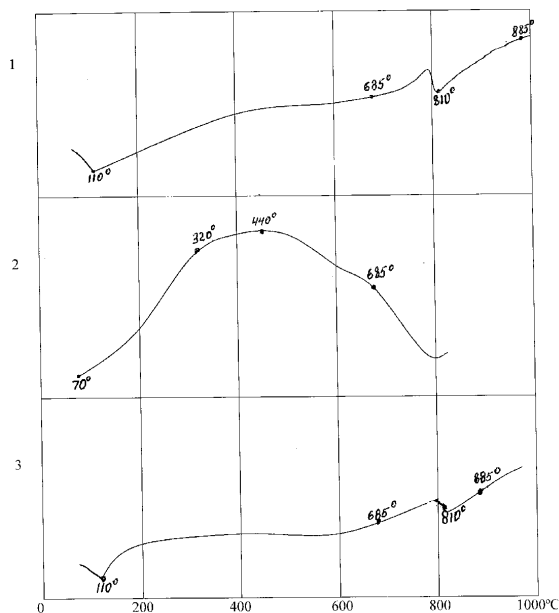


Рис. 4.4. ДТА исходного сырья для сухих строительных смесей

1 – цементный камень; 2 – минеральный наполнитель (песок); 3 – минеральный наполнитель + цементный камень

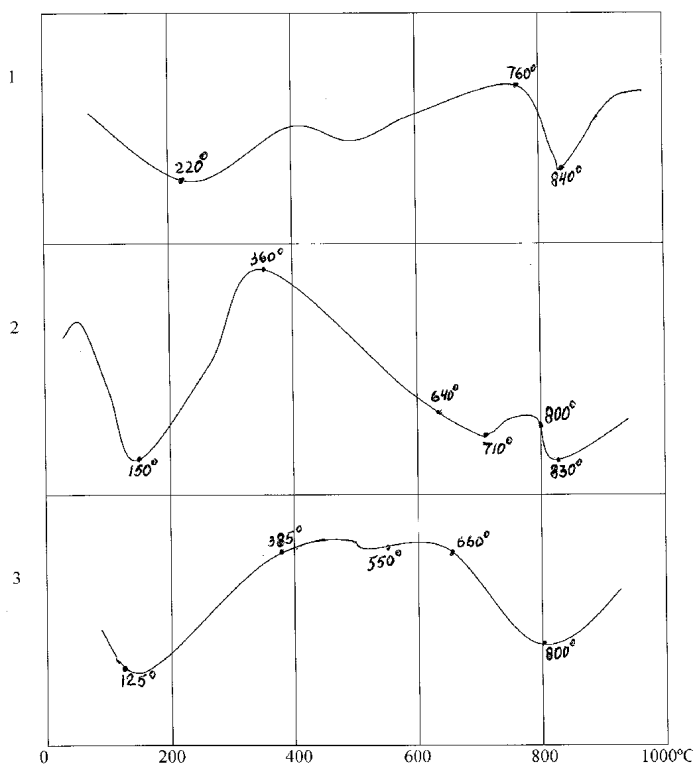


Рис. 4.5. ДТА компонентов сухих строительных смесей

1 – отходы АЦП; 2 – отходы АЦП + цементный камень;
3 – шлаковый песок + цементный камень

В результате выполненных исследований отмечены процессы гидратации цемента и возможные формы взаимодействия цемента с кварцевым песком и отходами АЦП. По нашему мнению, эндотермические пики при 685–710 °С (рис. 4.4) могут указывать на присутствие значительного количества гелевидных новообразований или гидросиликата кальция.

На кривых ДТА цементного камня четко прослеживаются эндоэффекты при температурах 110 и 810 °С. Первый из них обусловлен удалением слабо связанной воды из структуры цементного камня; второй – с разложением продуктов гидратации портландцемента. Экзоэффект, соответствующий терми-

ческому разложению портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в данном случае не проявляется (рис. 4.4).

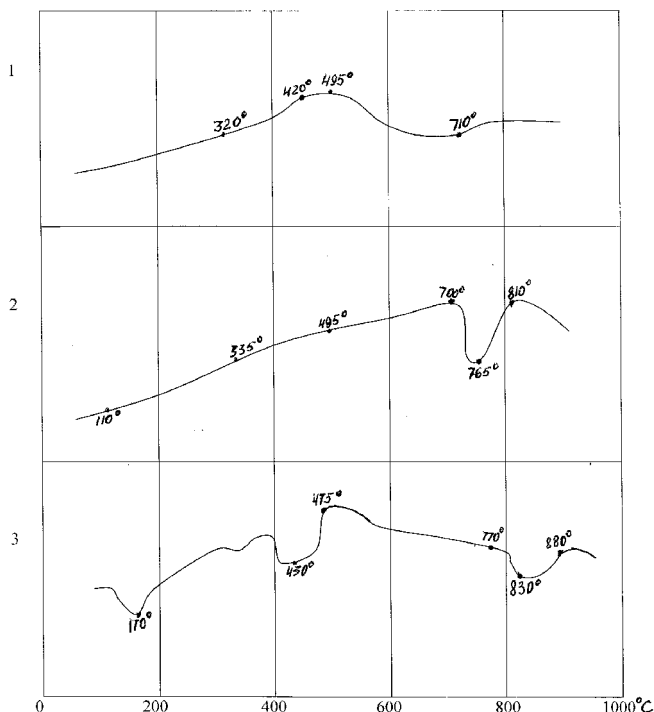


Рис. 4.6. ДТА компонентов сухих строительных смесей

1 – дегидрол; 2 – минеральный заполнитель (песок) + цементный камень + дегидрол; 3 – то же, + отходы АЦП

На ДТА минерального заполнителя (песка) ярко выраженные эндо- и экзоэффекты, как и следовало ожидать, отсутствуют (рис. 4.4). Характер кривой ДТА, по-видимому, определяется окислением присутствующих в песке в некотором количестве органических соединений.

Кривая ДТА системы «минеральный заполнитель – цементный камень» практически идентична кривой ДТА цементного камня.

На кривой ДТА отходов асбестоцементного производства проявляются эндоэффекты при температурах 220 и 840 °C

(рис. 4.5). Они связаны с разложением продуктов гидратации портландцемента, покрывающего волокна асбеста (810 °С) и чистого асбеста (840 °С). На кривой ДТА системы «отходы АЦП – цементный камень» проявляются аналогичные эндоэффекты (150 °С и 830 °С). Следует отметить смещение второго эндоэффекта в область более высоких температур (от 810 до 830 °С), что свидетельствует об упрочнении продуктов гидратации портландцемента и структуры в целом. Интенсивное повышение температуры от 150 до 360 °С на кривой ДТА системы «отходы АЦП – цементный камень» может быть связано с протеканием окислительных процессов и вторичных реакций, в частности, с образованием вторичных карбонатов, разложению которых соответствует эндоэффект при температуре 710 °С (рис. 4.5).

Кривые ДТА системы «шлаковый песок – цементный камень» имеет те же особенности, что и кривые ДТА системы «минеральный заполнитель – цементный камень». На кривой ДТА дегидрола (рис. 4.6) ярко выраженных эндо- и экзоэффектов нет. Отмечаемый максимум в интервале температур 420–495 °С может быть связан с окислительной деструкцией некоторых компонентов состава (рис. 4.6).

Введение в систему «минеральный заполнитель (песок) + цементный камень + дегидрол» дополнительных отходов АЦП приводит к смещению эндоэффекта при 765–810 °С в область более высоких температур (до 830 °С), т. е. способствует упрочнению структуры системы. В этом случае проявляется и эндотермический эффект при 430 °С, соответствующий разложению портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Таким образом, введение отхода асбестоцемента способствует повышению термостабильности всей системы, что сопровождается переходом второго экзотермического эффекта с 760 °С в зону повышенных температур 830 °С. Этот эффект можно отнести за счет проявления взаимодействия между цементным камнем и волокнами асбеста. Положительным фактором является введение дегидрола, который в силу своей проникающей способности обеспечивает более полную гидра-

тацию цемента и создание прочной структуры, что отмечено при изучении пористости цементного камня. Однако использование одного дегидрола в составе строительного раствора несколько снижает термостабильность всей системы, что отмечено на рис. 4.6 (кривая 2).

Рентгенофазовый анализ

Рентгенофазовый и термографический анализы образцов в сочетании с изучением микроструктуры позволили выявить некоторые особенности структуры в полимерминеральных конгломератных составах. Рентгенофазовый анализ проведен на аппарате УРС-50 ИМ и Дрон-1.

Подтверждением ранее сделанных выводов о термостабильности и возможном химическом взаимодействии в строительных растворах из сухих смесей с добавками направленного действия явились выполненные рентгеноструктурные исследования (рис. 4.7).

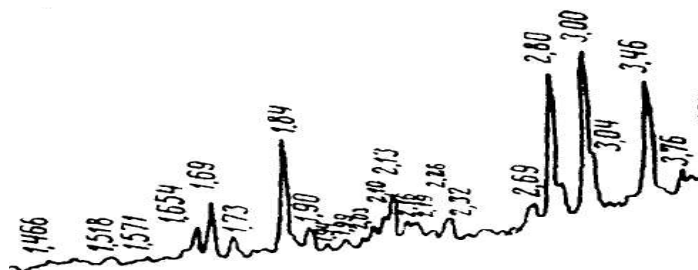


Рис. 4.7. Дифрактограммы цементного камня с отходами АЦП и дегидролом

Как показывает анализ дифрактограмм моносоставов, бинарных и комплексных минеральных композиций, можно сделать следующие выводы. При введении в состав строительного раствора отходов асбестоцемента отмечено снижение доли кварца по сравнению с исходными материалами. Так, линии межплоскостных расстояний с пиками при 4,27; 3,46; 2,68; 2,29; 1,99; 1,54 относятся к α -кварцу (SiO_2), а линии с пиками 2,61; 1,82; 1,76 – относятся к гидроксиду кальция – $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

пики при 3,80; 3,27; 3,03 и др. – характерны для смеси алюмосиликатов.

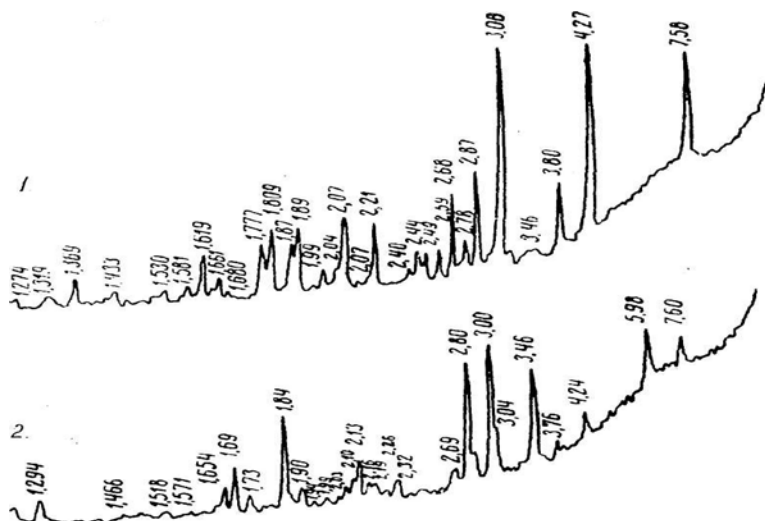


Рис. 4.8. Диффрактограммы цементного камня с отходами АЦП и дегидролом:

1 – минеральное вяжущее; 2 – то же, + дегидрол

Введение отходов асбестоцемента приводит к изменению содержания некоторых кристаллических фаз цементного камня, что отражается на рентгенограммах снижением или повышением степени интенсивности их пиков. Введение в состав сухой смеси проникающей добавки дегидрола приводит к усилению пиков 2,61; 1,82; 1,76, относящихся к гидросиликатам, а это, в свою очередь, свидетельствует об усиливающей роли этой добавки в растворной композиции.

Исследование микроструктуры

Иллюстрацией сделанных ранее выводов об усиливающей роли вводимых в состав сухих строительных смесей отходов асбестоцемента и дегидрола служат проведенные микроструктурные исследования. На рис. 4.9–4.10 представлены микрофотографии моно- и сложных составов и контактных зон затвер-

девших строительных растворов с добавками направленного действия. Как следует из анализа представленных снимков, зерна песчаных фракций, находящиеся в цементном камне, имеют четкие границы контактов, что свидетельствует о механическом сцеплении при отсутствии химического взаимодействия (рис. 4.9).

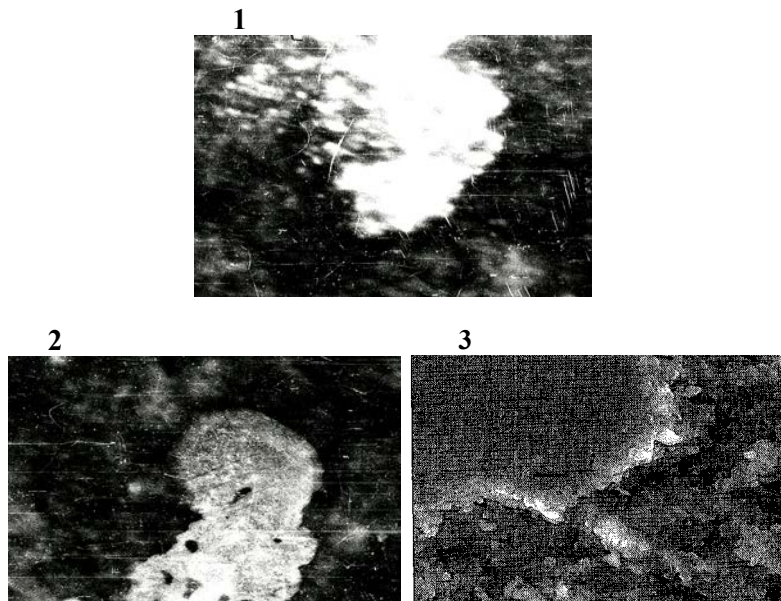


Рис. 4.9. Микроструктура строительных растворов из сухих смесей: 1 – зерно кварцевого песка в растворе, х640; 2 – зерно шлакового песка в растворе, х640; 3 – зерно керамзитового песка в растворе, х820

Микроструктурные исследования образцов строительных растворов с добавками, представленные на рис. 4.10, показывают изменение микроструктуры, происшедшие благодаря воздействию добавок – отходов асбестоцемента и дегидрола. Они способствуют равномерному переходу цементной матрицы к минеральному заполнителю, а это, в свою очередь, свидетельствует об усиливающей роли добавок и упорядочении микроструктуры строительного раствора из сухой смеси. Кроме того, отмечено также, что дисперсное армирование совместно с добавкой дегидрола способствует укреплению конгломерата,

что обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики материала и длительную работу в строительных конструкциях зданий и сооружений.

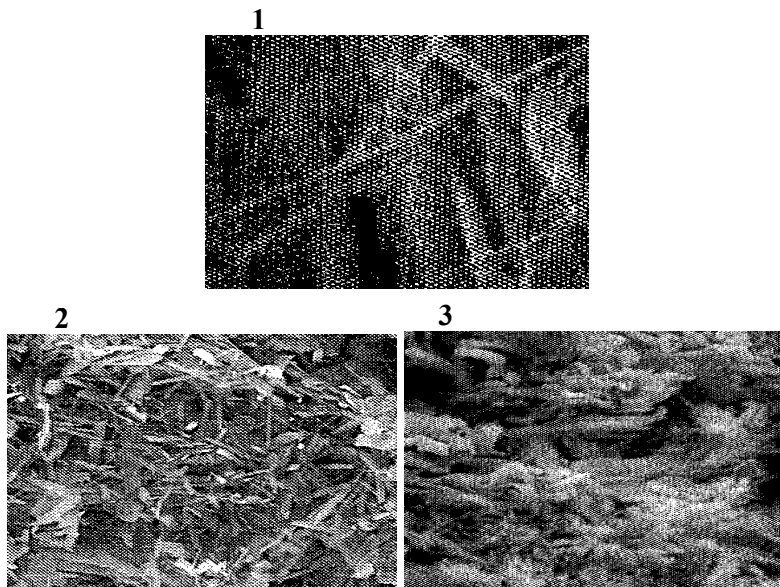


Рис. 4.10. Микроструктура строительных растворов из сухих смесей с добавками направленного действия:

1 – волокна асбеста в растворе, х820; 2 – то же, + дегидрол в растворе, х640;
3 – то же, + дегидрол + ВАЭ в растворе, х360

Таким образом, проведенные комплексные исследования структуры строительного раствора с добавками направленного действия позволили подтвердить их положительное воздействие на свойства материала, а также установить высокую эффективность данной композиции. Кроме того, полученные результаты свидетельствуют о следующем.

Выполнен комплекс физико-химических исследований, в т. ч. порометрические измерения, позволившие оценить наличие пор различного диаметра в строительных растворах. Показано положительное влияние добавок отходов асбестоцемента и дегидрола на формирование микропористой структуры, что создает благоприятные условия для повы-

шения сопротивляемости материала эксплуатационным воздействиям.

Проведены исследования массопереноса, позволившие установить взаимосвязь между степенью проницаемости, пористостью и прочностью материалов и их долговечностью в результате изменения структурной пористости, что подтверждается также результатами порометрических и микроструктурных исследований.

Проведен дериватографический и рентгенофазовый анализ строительного раствора с добавками направленного действия и контактных зон в сложных системах и материалах. Показана положительная роль минеральных добавок в формировании структуры с более стойкими параметрами сопротивляемости эксплуатационным средам и воздействующим факторам.

Установлены особенности структуры, определяющие высокие физико-химические свойства рекомендованных вариантов строительного раствора из сухих смесей с добавками направленного действия. Показано их взаимодействие и упрочняющее влияние при работе элементов зданий, обеспечивающее долговременную и надежную работу их частей.

Глава 5

ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

5.1. Разработка технологической схемы производства сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия

Для опытно-производственного внедрения сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия была разработана технологическая схема производства с подбором необходимого дополнительного стандартного и нестандартного оборудования. Технологическая линия предусматривает адаптацию данной технологии на действующем предприятии – Новосибирском заводе сухих строительных смесей ОАО «Предприятие отделочных материалов». В качестве доработки действующей технологии был модернизирован дополнительный узел подготовки и загрузки минеральных добавок, оборудованный грохотом и набором сит для получения требуемой дисперсности вводимых минеральных порошков. На рис. 5.1 представлена технологическая схема цеха по выпуску сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия.

Последовательность технологических операций включает в себя следующие переделы в зависимости от назначения растворных смесей и рецептур. Изготовление осуществляется в условиях производства с использованием стандартного и нестандартного оборудования, располагаемого на бетоно-растворных узлах заводов железобетонных изделий. Технология производства сухих смесей складывается из следующих технологических операций; поступающий с карьера песок или гравийно-песчаная смесь подвергается тепловой обработке в сушильных агрегатах, где их влажность доводят до 0,5 %, затем производят рассев на ситах до нужных фракций. Просеянный песок после дозирования направляется в смеситель принудительного действия, как и другие компоненты в небольшом количестве

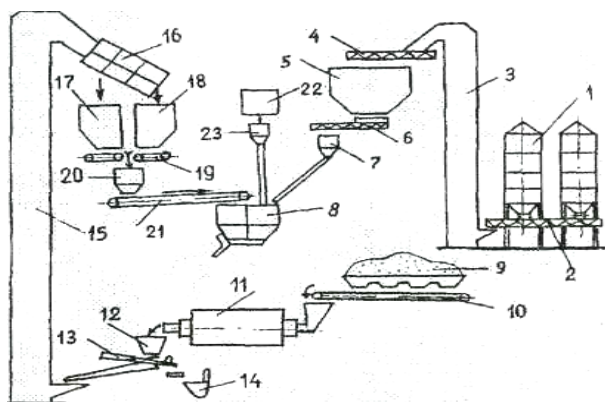


Рис. 5.1. Схема приготовления сухой строительной смеси с комплексными добавками направленного действия:

1 – силос цемента; 2, 4, 6 – шнековые питатели; 3 – элеватор; 5 – расходный бункер песка; 7, 20, 23 – дозаторы; 8 – смеситель непрерывного действия; 9 – склад песка; 10 – ленточный конвейер; 11 – сушильный барабан; 12 – бункер – накопитель; 13 – грохот; 14 – емкость с ВАЭ; 15 – элеватор; 16 – сито для песка; 17, 18 – расходные бункеры цемента и отходов АЦП; 19 – ленточный питатель; 21 – дополнительный питатель; 22 – емкость добавок – дегидрола

Компоненты дозируются по массе с помощью весовых дозаторов. Отдозированные материалы перемешиваются до получения однородной массы, которая поступает на затаривание в емкости, необходимые для реализации, и подается на склад готовой продукции. Если затаривание не предусмотрено, то смесь сразу поступает в бункер склада готовой продукции. Такая технологическая схема получения сухих смесей осуществляется при применении песков мелкой и очень мелкой фракции. При использовании песков средних фракций, а возможно и крупных, их необходимо дополнительно измельчать как самостоятельно, так и совместно с цементным клинкером или готовым цементом. Последующие технологические операции те же, что и при использовании мелких песков. Смеси хранят в сухом месте, а модифицированные полимерами – при температуре не выше 40 °С.

При модернизации заводов и комбинатов по производству бетонных и железобетонных изделий и конструкций без перео-

оборудования технологических линий может быть рекомендовано введение в состав растворобетонных цехов дополнительных установок или узлов по производству сухих строительных смесей. На рис. 5.2 приведена блок-схема технологической установки производительностью 10 тыс. тонн в год, разработанная предприятием «КОНСИТ». Данная установка адаптирована практически к любому мелкому заполнителю и может быть быстро смонтирована в условиях действующего предприятия.

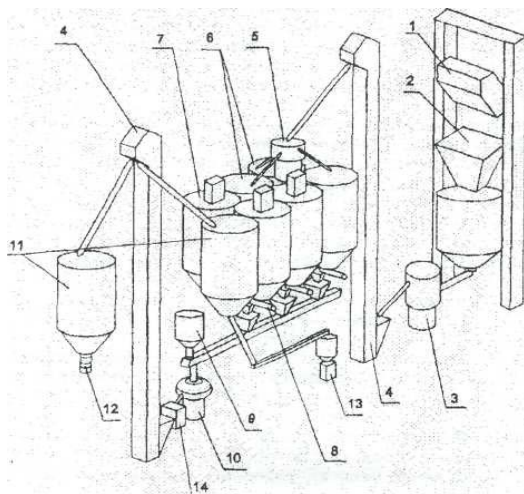


Рис. 5.2. Установка по производству сухих строительных смесей:

1 – скип; 2 – узел загрузки; 3 – сушилка; 4 – элеватор; 5 – сито; 6 – бункеры инертных; 7 – бункер вяжущих; 8 – дозаторы; 9 – дозатор добавок; 10 – смеситель; 11 – бункеры готовой смеси; 12 – устройство для затарки в автосмесевоз; 13 – устройство затарки в мешки; 14 – бункер-питатель

На рис. 5.3 представлен вид технологического оборудования на опытном производстве в цехе по выпуску сухих строительных смесей с рекомендуемыми добавками. В качестве дополнения были установлены дополнительные бункеры для отходов асбестоцемента с дозатором и емкости для дегидрола и сухого клеевого редиспергируемого порошка – сополимера винилацетата и этилена (ВАЭ).



Рис. 5.3. Общий вид оборудования цеха по выпуску сухих строительных смесей по рекомендуемым составам с добавками отходов асбестоцемента (ОАЦП), дегидрола и сухого клеевого редуспергируемого порошка – сополимера винилацетата и этилена (ВАЭ)

5.2. Опытнo-производственнoе внедрение результатов исследований

Подбор производственного состава сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия производится по общепринятым на практике способам расчета и корректируется в соответствии с реальными свойствами минеральных компонентов. Полученный или рекомендуемый состав утверждается руководством предприятия и постоянно контролируется заводской лабораторией. При подборе состава сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия основным требованием является получение заданных средней плотности (марки по плотности) и предела прочности при сжатии (класса по прочности) при минимально возможном расходе цемента. В ряде случаев при подборе состава выдвигаются дополнительные задачи, связанные с условиями эксплуатации строительного раствора. К ним относятся требования по получению строительных растворов

из сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия с определенной теплопроводностью, морозостойкостью, адгезионной прочностью, стойкостью к попеременному намоканию и высушиванию и т.д.

Для подбора состава сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия должны быть заданы требования к ним, а также к затвердевшему строительному раствору. В частности в требованиях указывается предельно допустимая марка строительного раствора, необходимая его структура, проектная и отпускная прочность, водопотребность, подвижность смеси, а также данные о свойствах исходных материалов (вид и марка цемента, насыпная плотность, вид и водопоглощение по массе заполнителя, его крупность и фракционный состав, характеристика добавок и т.д.). Кроме того, указываются возможные производственные условия приготовления, укладки и уплотнения растворной смеси, а также режим твердения после её укладки.

В общем случае, для расчета состава сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия необходимо использовать материалы, удовлетворяющие требованиям стандартов. Предварительно должны быть установлены характеристики всех применяемых материалов: для цемента – его марка или активность, нормальная густота, минералогический состав, средняя плотность $\rho_{ц}$, истинная плотность ρ_0 ; для заполнителя – насыпная плотность $\rho_з$, плотность в куске $\rho_{з,к}$, водопоглощение по массе W_B , качество добавок устанавливается паспортом или на основании данных их непосредственного лабораторного испытания.

После этого расчетным путем или по таблицам назначают расходы материалов для приготовления первого исходного замеса, а затем других опытных замесов, отличающихся от первого содержанием материалов (вяжущего, заполнителя, воды и добавок). При этом число переменных принимается в зависимости от конкретных условий. Расчет имеет целью обеспечить работу по дальнейшему подбору состава сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия.

По расчетным данным готовят пробные замесы из легкогобетонной смеси с заранее принятыми расходами материалов, и из каждой смеси изготовляют контрольные образцы по технологии, приближающейся к производственной. Одновременно определяют уточненную плотность полученной растворной смеси в уплотненном состоянии $\rho_{арб}$. После этого вычисляют фактические (уточненные) расходы материалов на 1 м³ уложенной растворной смеси в уплотненном состоянии.

В нашем случае были переданы предприятию Рекомендации с опытными рецептурами сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия, которые взяты за основу технологами и заложены в программу составов растворобетонного узла. Ниже приводятся рекомендованные расчетные и рекомендуемые составы для выпуска опытно-производственной партии сухих смесей (табл. 5.1 и 5.2).

Таблица 5.1

**Состав № 1 сухой смеси для монтажных работ
и каменной кладки из бетонных блоков**

Компоненты сухой смеси	Расход материалов на м ³ сухой строительной смеси, кг	
	Расчетный	Рекомендуемый
Кварцевый песок	840–950	890±10
Цемент	280–300	305±5
Отходы АЦП	50–70	75±5
Дегидрол	2,0	2,2±0,2
ВАЭ	1,0	1,3±0,1

Суммарный расход: 1153–1323 кг 1274±20 кг

По приведенным выше рецептурам были изготовлены сухие строительные смеси, направленные в строительную организацию для опытно-производственного внедрения в условиях реального строительства. На рис. 5.4 представлена фотография приготовления строительного раствора из сухой смеси с добавками направленного действия, используемая для выравнивания основания под линолеумные полы.

Таблица 5.2

**Состав № 3 сухой смеси для каменной
кладки из керамического кирпича и газобетонных блоков**

Компоненты сухой смеси	Расход материалов на м ³ строительного раствора, кг	
	Расчетный	Рекомендуемый
Кварцевый песок	630–660	685±10
Цемент	230–250	260±5
Отходы АЦП	140–170	145±5
Дегидрол	2,0	2,0±0,2
ПВА	1,0	1,0±0,1

Суммарный расход: 1003–1083 кг 1093±20 кг



Рис 5.4. Приготовление строительного раствора из сухой смеси по рецептуре (состав № 2) с помощью электрического смесителя и выравнивание при устройстве основания под полы

Несмотря на то, что наливные полы являются одним из самых сложных и чувствительных к колебаниям качества сырья видов сухих смесей, основания из строительных растворов опытной партии отвечали предъявляемым требованиям по всем показателям: достаточное, но не слишком продолжительное время растекания массы; минимальные величины усадки; отсутствие признаков расслоения; отсутствие трещин после отверждении массы, хорошая адгезия к основанию (легкому бетону).

Работники, занимающиеся устройством полов, оценили положительно качество затвердевшего раствора из сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия, указав что после затвердевания строительного раствора никаких дефектов не обнаружено.

Кроме устройства наливных полов были выполнены работы по устройству стен жилых зданий в коттеджном поселке в пригороде г. Новосибирска. Каменная кладка велась из газобетонных блоков, поэтому для производства работ был рекомендован состав № 3 с высоким содержанием отходов асбестоцементного производства.

На рис. 5.5 представлен внешний вид жилого двухэтажного дома из газобетонных блоков с использованием строительного раствора из сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия. Дома строились в теплое время 2011 года. В настоящее время обследование показало их хорошее состояние, о чем свидетельствуют также отзывы жильцов. Высолов, отслоений, промерзаний и образования конденсата не обнаружено. Влажностный и температурный режим в помещении нормальный в течение всего периода наблюдений.



Рис. 5.5. Возведение жилого дома из газобетонных блоков с использованием сухих смесей по рецептуре (состав № 3) с добавками направленного действия

На рис. 5.6 показаны жилые дома, возведенные с применением сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия.



Рис.5.6. Внешний вид жилых домов из газобетонных блоков с использованием сухих смесей по рецептуре (состав № 3) с добавками направленного действия

Опыт эксплуатации стен жилых зданий из газобетонных блоков на строительных растворах из сухих смесей с добавками направленного действия показал их высокую эффективность и хорошие теплозащитные качества. Стены отличаются от выполненных на обычных строительных растворах низким коэффициентом теплопроводности и быстрой осушаемостью после зимнего холодного периода. Отмечено, что влагонакопление в них существенно ниже и они энергоэкономичнее аналогов.

5.3. Контроль качества и техника безопасности при производстве и применении строительных растворов из сухих смесей

Контроль качества строительных растворов из сухих смесей осуществляется для оценки стойкости и долговечности и в большей степени необходим в условиях Сибирского сурового климата. При создании нового вида материала, а также и для используемых ранее проводят комплекс специальных исследований долговечности как в лабораториях, так и в натурных условиях. К таким видам исследований относятся влияние искусственно создаваемых натуральных агрессивных условий на адгезионную связь затвердевшего растворного слоя к телу каменного или бетонного основания.

При оценке долговечности растворных слоев применяются в основном два вида циклических воздействий: попеременное замораживание и оттаивание, а также водонасыщение и высушивание.

Специфика работы наружных стен зданий в условиях резко-континентального климата продиктована прежде всего значительными колебаниями температуры и влажности, а также низкой средней температурой в течение года. Например, в Западной Сибири среднегодовая температура составляет – 0,1°C; число дней в году, имеющих температуру менее 8°C – 272, причем 80...100 раз температура воздуха переходит через ноль с амплитудой до 40°C. По данным профессора Л. Н. Холоповой на Севере на солнечной стороне фасадов зданий температурные перепады достигают 100°C. Поэтому, чтобы обеспечить гарантированную надежность работы объектов, необходимо при возведении руководствоваться следующими принципами.

Морозостойкость кладочных и монтажных строительных растворов из сухих смесей должна быть не менее 50–75 циклов для Сибири и не менее 100 циклов для северных территорий. Морозостойкость отделочного материала и отделочного слоя должна быть не менее 35 циклов для Сибири и не менее 50 циклов для районов севера. Испытание на морозостой-

кость можно осуществлять двумя способами: по стандартной и ускоренной методике, которая устанавливает минимальный критерий температуры замораживания (для первого способа температура замораживания должна быть не выше -17°C , а для второго способа не выше -18°C , при этом должен быть применен 5-ти процентный солевой раствор поваренной соли). При стандартной методике определения морозостойкости оттаивание и насыщение материала осуществляется водой комнатной температуры.

Изменение объема при наличии влаги в сотни раз больше, но самое опасное, что оно происходит резко при температуре замерзания имеющихся во влажных строительных материалах растворов солей. При зимних оттепелях и заморозках материал испытывает переход через точку кристаллизации льда десятки раз, и каждый раз происходит его разрушение. При морозах с температурами ниже точки кристаллизации льда идет только незначительное изменение объема материала, причем практически несущественно.

Отсюда следует, что морозостойкость минерального строительного материала определяется только количеством находящейся в нем воды. Так, для фасадных штукатурок рекомендуется водопоглощение не выше 3... 6 %, в то время как обычная минеральная штукатурка может иметь этот показатель 20...30%. Такая влажная штукатурка при воздействии мороза неизбежно будет разрушена.

В сухих строительных материалах не происходит конденсация воды и превращение воды в лед, этим предотвращается их разрушение на морозе. При попеременном увлажнении и высушивании материалов происходит их более интенсивное разрушение за счет возникновения внутренних напряжений при высыхании влаги и, как следствие, возникающей усадке. Испытание осуществляется по следующей методике: насыщение при полном погружении в воду (или водный раствор 10-ти процентного раствора Na_2SO_4 , при ускоренной методике) – 16 часов, высушивание при температуре 105°C – 8 часов. Для устранения влияния на фактурный слой резкой смены темпе-

ратур образцы после высушивания остывали в воде с температурой $15 \pm 5^\circ\text{C}$.

Качественным показателем оценки стойкости растворного слоя, от воздействия рассмотренных факторов, является прочность сцепления к каменному или бетонному основанию, которая определяется через каждые 10 циклов, при постоянной фиксации массы и внешнего вида.

Одним из возможных путей ускорения разрушения затвердевших строительных растворов в лабораторных условиях может служить повышение интенсивности облучения, при котором возможно изменение физико-химических процессов разрушения покрытий и полимерного компонента растворной смеси. В связи с этим при выборе режимов испытаний, имитирующих определенные климатические условия, значительное увеличение интенсивности облучения в сравнении с интенсивностями, наблюдаемыми в природных условиях, нецелесообразно.

О влиянии температуры на процессы старения полимерных составляющих ряд исследователей утверждают, что при температуре выше 60°C может происходить автокаталитическое ускорение процессов термоокислительного старения, поэтому температура при лабораторных испытаниях не должна превышать 60°C [22].

Существенно ускорить разрушение полимеров в растворе и полимерных покрытий под влиянием влажности без искажения механизма процессов старения невозможно, поэтому условия воздействия влажности необходимо выбирать с учетом конкретных климатических условий. При орошении образцов на дне аппарата искусственного климата сохраняется достаточное количество воды, но из-за интенсивного обмена воздуха влажность в камере не превышает 30 %, а температура 60°C . Для этих целей используется аппарат искусственного климата типа ИП-1–3 с двумя дуговыми лампами и двумя ртутно-кварцевыми лампами ПРК-2.

Орошение и высушивание образцов проводится для условий Западной Сибири по циклу 10–40 (10 минут увлажнения

водой и 40 минут высушивание их при температуре 60°C с помощью ламп).

Оценка качества поверхности затвердевших растворов после данных циклов испытаний также осуществлялось путем отрыва затвердевшего слоя от подложки и изменении его внешнего вида.

Нормируемые параметры соответствуют более жестким условиям, чем те, при которых тот или иной материал будет реально эксплуатироваться, т.е. предусматривается запас прочности, в том числе на морозостойкость. Методы испытаний для различных сухих смесей различные, их набор зависит от реальных условий эксплуатации, а также от международных стандартов, используемых производителями. Так, для плиточных смесей, в зависимости от государств, применяются следующие виды стандартов: Европа – UEATC/CEN, Германия -DIN 18156, Великобритания – BS 5980, США – ANSI 118. Для них предъявляются одинаковые требования, в которых контролируются такие параметры, как:

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| • открытое время | – 10...20 мин; |
| • скольжение | – 0,1,3 мм; |
| • увлажнение | – 65 %; |
| • работоспособное состояние | – 3 часа; |
| • прочность к снятию | – 0,5...1 Н/мм ² ; |
| • прочность к изгибу | – 1,1...1,7 Н/мм ² . |

Контроль за качеством сухих смесей, применяемых для наклейки керамических плиток на вертикальные поверхности стен, состоит в определении следующих показателей:

– распределения размеров частиц, осуществляемое с помощью вибросита с ячейками 0,063...0,5 мм под воздушной струей;

– определения – открытого времени, когда на подложку из волокнистого цемента с помощью зубчатого шпателя 6х6 мм наносится плиточная смесь, на которую через каждые 5 мин укладываются плитки 5х5 см. На уложенные плитки устанавливается груз весом в 2 кг на 30 с, после чего плитка снимается и производится оценка увлажненной поверхности.

Необходимо отметить, что не менее 50% отделяемой поверхности должно сохраниться на подложке;

- испытания на устойчивость к скольжению. В этом случае на подложку из ПВХ с помощью зубчатого шпателя наносится смесь, на поверхность которой укладываются фаянсовые плитки размером 10 x10 см. На плитки устанавливается груз весом 2 кг на 30 с и отмечается верхний край плиток. Затем подложка ставится в вертикальное положение и после 10 мин выдержки осуществляется измерение скольжения;

- испытания на устойчивость к снятию. На бетонную подложку размером 40 x 40 см зубчатым шпателем наносится смесь, на которую раскладывают керамические и фаянсовые плитки размером 5x5 см по 5 штук. Они нагружаются грузами весом 2 кг на 30 с. Снятие плиток осуществляется после 28 суток, при этом возможны различные условия хранения. Предел прочности к снятию должен составлять не менее 0,5 Н/мм. При установлении качества самовыравнивающихся составов для полов методика испытания их сводится к определению:

- свойства мокрого раствора, где проводят испытание на разделение фаз, сепарацию, водоудержание, растекаемость, самовыравнивание, а также устанавливает консистенцию и качество состояния поверхности;

- испытание на прочность, усадку и остаточную влажность. Качество кладочных растворов устанавливают по определению следующих показателей: просеивание, содержание воздушных пор, растекание на колебательном столе, водоудержание, устойчивость консистенции, липкость, адгезия к камню, прочность при сжатии и изгибе, устойчивость к снятию.

При применении растворов для системы теплоизоляции они должны удовлетворять следующим требованиям:

- универсальность, т.е. применение для склеивания и армирования;

- возможность ручной и машинной переработки;
- схватывание без образования трещин;
- легкое нанесение;
- достаточная адгезия к субстрату;

- хорошее водоудержание;
- позднее образование пленки;
- легкая перерабатываемость и вложение арматуры.

Методы испытания для плиточного цемента. По немецкому стандарту (ДИН 18156) методы испытания для плиточного цемента основываются на приготовлении сухих смесей из всех составляющих (песок, цемент, добавки в нужном соотношении), которые затворяются в воде и тщательно перемешиваются в течение 30 с. Затем специальным зубчатым шпателем наносится на лежащую бетонную плиту. Через 10 мин на раствор укладывают фаянсовую плитку размером 150x150 мм, на которую устанавливают гирию весом в 5 кг на 30 с. Острым предметом у верхнего края плитки отмечают начальную черту положения плитки. Затем устанавливают бетонную плиту в стабильное вертикальное положение и наблюдают за состоянием плитки. Если после 10 мин не наблюдается изменение в положении плитки, то на нее навешивают гирию весом в 300 грамм на 1 мин и отмечают новое положение верхнего края плитки. Разница в расстоянии между начальной чертой и новым положением верхнего края плитки и есть выражение для **устойчивости против скольжения.**

Время коркообразования (открытого времени) измеряется через 10 мин, а потом с интервалом времени в 5 мин. Для этого необходимо наложить на поверхность плиточного цемента заранее приготовленные кусочки ваты размером 50x50 мм и поставить на них гири весом в 500 г на 30 с. Через 24 часа с помощью сильного выдоха сдуть вату и оценить площадь контакта ваты с плиточным цементом. Время наложения плитки из ваты, площадь которой еще больше 50% от общей поверхности и соответствует теоретическому открытому времени, времени коркообразования.

После укладки слоя плиточного цемента на него сразу же укладывают делимое на 3 число плиток из керамики размером 50x50 мм и устанавливают на них гири весом в 1 кг на 30 с. Через 10 мин и потом с интервалом в 5 мин повернуть по 3 плитки в слое плиточного цемента на 90°, а затем обратно

в начальное положение (без постановки гири). Через 28 дней, после хранения при комнатной температуре (23 °С), снять плитки с помощью специального прибора и определить необходимое для снятия усилие. Та серия плиток, у которой необходимое для снятия плиток усилие не меньше стандартного значения (0,5 Н/ мм²), соответствует **допустимому времени корригировки**.

Контактная площадь определяется следующим образом. Через 10 мин положить чистую стеклянную плитку размером 150х150х5 мм, параллельно к видимым каналам плиточного цемента и поставить на нее гирю весом в 5 кг на 30 с. После чего визуальнo или с помощью специального измерительного прибора определяют площадь однородной поверхности в процентах от всей поверхности плитки.

Устойчивость к снятию устанавливают в конкретных температурных условиях путем снятия плитки с помощью специального прибора, которым определяют необходимое усилие. Для этой цели сразу после нанесения плиточного цемента на подоснову укладываются по 3 плитки размером 50х50 мм, на которые устанавливают гири весом в 1 кг на 30 с. Для испытания устойчивости к снятию в нормальных условиях плитки из фаянса и керамики хранят в течение 28 суток на воздухе при комнатной температуре (23,5°С); во влажных условиях – в начале 7 суток на воздухе, а потом 21 сутки в воде при данной температуре; в более теплых условиях -плитки только из фаянса хранят 28 суток на воздухе при температуре (23,5°С) и потом 14 суток на воздухе при температуре 70°С. Для испытания стойкости к снятию по циклу мороз/роса: плитки только из керамики хранят 7 суток на воздухе при температуре 23,5°С, 21 сутки – в воде такой же температуры, а потом чередуют 25 циклов мороза/росы (2 часа выдерживают в воде при температуре 23,5°С, затем сушат на воздухе, а потом выдерживают 2 часа при температуре –15°С).

Методы испытания для самонивелирующего состава для пола.

Начальным этапом данной методики является проверка состава исходных материалов, в результате которой регули-

руют содержание связующего и других компонентов в самонивелирующем составе. С этой целью примерно 20...25 г готовой смеси просеивают через сита с различными размерами ячеек (рекомендуются следующие сита: 0,063 мм, 0,125 мм и 0,25 мм). На сите 0,063 мм должны находиться в основном только компоненты связующего, т.е. цемента, потому что другие составляющие, как, например, наполнитель – песок, имеют более крупные размеры частиц.

Оценка растекания состава по поверхности устанавливается на растворе из самонивелирующегося состава, при чем необходимо строго соблюдать количественный состав воды, указанный в документации. Приготовленный состав заливают в заранее приготовленный металлический цилиндр (внутренний диаметр 2 дюйма и высота 45 мм) без внешнего воздействия. Этот цилиндр должен стоять на стеклянной плитке размером не менее 250x250 мм. После полного заполнения цилиндра массой самонивелирующегося состава его плавно поднимают. При этом масса выливается из цилиндра и растекается по поверхности стеклянной плитки. После двух минутной выдержки измеряют диаметр расплывшейся массы.

Нормальным считается состав, когда диаметр расплывшейся массы составляет от 170...190 мм. Поэтому результату судят о достаточном количестве сжижающего агента (казеин и др.).

Субъективная оценка поверхности и консистенции массы позволяет установить качество поверхности самонивелирующегося состава. Для этого используют расплывшуюся массу на стеклянной плитке из предыдущего испытания, поверхность которой тщательно осматривают. На поверхности самонивелирующегося состава не должно быть много и относительно больших микрократеров (желательно, чтобы их было мало и только маленькие), не должны быть видны облакообразные выцветы из извести.

Облакообразные выцветы устраняются введением в состав добавочного количества целлюлозного эфира, а уменьшение микрократеров – за счет добавления большего количества пеноудалителя.

После осмотра поверхности стеклянную плитку наклоняют примерно на 45° и держат ее в этом положении. С поверхности массы самонивелирующегося состава не должна стекать вода. В противном случае необходимо увеличить содержание целлюлозного эфира или уменьшить исходное количество воды.

Испытание качества слияния самонивелирующегося состава осуществляется путем контактирования двух приготовленных замесов с разницей во времени 2 минуты. И так, через 2 мин после выливания первой части самонивелирующегося состава приготавливают вторую, которую также выливают, но с таким расчетом, чтобы края обеих частей массы сливались. При этом должны быть соблюдены требования: на границе слияния не должна образоваться четкая линия раздела; обе части должны действительно слиться. Не должно быть разницы по высоте между двумя частями состава.

Не соблюдение этого требования приводит к замене более подходящего сжижающего агента или увеличение ранее взятого.

Определение прочности самонивелирующегося состава осуществляется на приготовленной массе, которая выливается в заранее приготовленную форму с внутренними размерами 40x40x160 мм. Масса хранится в течение 28 суток при комнатной температуре (около 20°C) и влажности воздуха около 50 %, после чего образцы подвергаются испытанию. Нормальным считается значение усилия сжатия около 20... 40 Н/мм². Перед испытанием на сжатие образцы замеряются, в результате чего определяется величина сокращения внешних параметров (сокращение допускается до 1 мм).

Определение усилия против снятия. Для этого заливают бетонную плиту размером 200x200 мм из обычного бетона, на поверхность которой наливается слой толщиной 3 мм из самонивелирующегося состава. После 28 суток твердения при нормальных условиях (комнатная температура 20°C и влажность окружающей среды около 50 %) специальным прибором вырезают окружности диаметром 50 мм, к которым приклеивают приспособления, позволяющие определить необходимое усилие для снятия окружностей от поверхности бетона. До-

пустимым значением усилия против снятия считается предел прочности при отрыве, равный около $1 \dots 2 \text{ Н/мм}^2$.

Все операции по определению контролируемых параметров растворов и затвердевших растворных смесей выполняются сотрудниками специальных лабораторий или представителями научных и учебных учреждений, имеющих сертифицированное оборудование и приборы для проведения всех работ.

Для производства работ по выпуску сухих строительных смесей в заводских условиях обязательно необходимо получение **гигиенического сертификата**. Сухие строительные смеси различного назначения состоят из минеральных вяжущих – извести, цемента или гипса, наполнителей – песка, мела, мраморной или известняковой муки, волокон и т.д., полимерного вяжущего – дисперсионного порошка, а также химических добавок, например, метилцеллюлозы, для придания водоудерживающих свойств. При производстве работ по приготовлению и затариванию сухих смесей с применением редиспергируемых дисперсионных порошков необходимо предотвратить образование пыли. При наличии в помещении пыли, состоящей из дисперсионного порошка при концентрации более 15 г/м^3 , возникает опасность взрыва от искры или открытого огня. Сам порошок возгорается при температуре 400°C .

Максимальная температура компонентов для смешения с редиспергируемым дисперсионным порошком не должна превышать 50°C . Все электрооборудование и транспортные средства должны быть заземлены для снятия статического напряжения. При правильном хранении и складировании никаких опасных реакций не возникает, и не возникает продуктов разложения. Продукт при приготовлении и применении не токсичен, безвреден для окружающей среды. На него имеется Стандарт Европейского Сообщества по безопасности и Гигиенический сертификат Российской Федерации.

Во время работы не рекомендуется есть, пить, курить. С целью защиты органов дыхания рекомендуется использовать респиратор «Лепесток». Глаза предохранять защитными очками.

При уборке помещений продукт может утилизироваться совместно с домашними отходами. При транспортировании наземным и воздушным путем готовый продукт не является опасным грузом.

Рабочие перед допуском к производству работ по отделке поверхностей изделий должны быть проинструктированы о безопасных приемах и способах работы, в том числе с применением вредных отделочных материалов, о выполнении мер личной гигиены и правильном применении индивидуальных средств защиты органов дыхания и зрения.

С водоземлюльсионными составами работают в спецодежде и рукавицах. Окраску и нанесение отделочных слоев фасадов зданий необходимо производить с прочных инвентарных лесов, передвижных мачт, люлек, изготовленных из доброкачественных материалов.

При окраске внутренних поверхностей следует избегать сильных сквозняков.

Все рабочие, имеющие дело с вредными растворными составами, регулярно, через каждые три месяца, подвергаться медицинскому осмотру.

Для работы с электрофицированными инструментами работники должны пройти соответствующий инструктаж по правилам безопасности работы.

При подготовке кирпичных, каменных, бетонных и других поверхностей с применением пескоструйных аппаратов, ударных инструментов (зубил, скарпелей), при очистке от пыли и грязи рабочие должны работать в очках и респираторах.

Ручки инструментов не должны растирать кожу рук, натирать мозоли и наносить другие травмы. Категорически запрещается брать руками раствор на основе цемента и извести. В случае попадания таких растворов в глаза надо немедленно промыть раствором борной кислоты и обратиться к врачу.

Во время работы очень важно выбирать правильное рабочее положение. Это не только снижает усталость, но и в значительной степени предохраняет от получения разного рода травм.

5.4. Экономическая эффективность внедрения сухих строительных смесей с комплексными органоминеральными добавками

Технико-экономическая оценка производства и применения сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия осуществлялось на примере применения строительных растворов при устройстве газобетонных стен жилых зданий. При этом использовались сухие строительные смеси, изготовленные на технологических линиях с адаптацией данной технологии на действующем предприятии – Новосибирском заводе сухих строительных смесей ОАО «Предприятие отделочных материалов» (Новосибирская область) и на объектах жилищного назначения (см. Приложение). Оценка производилась с учетом эффективности производства, коэффициента использования, плотности полученных строительных растворов и их теплопроводности, а также других качественных показателей. Кроме того, при экономическом обосновании учитывались сопутствующие производству взаимосвязанные факторы:

- физико-механические и эксплуатационные свойства материалов (прочность, плотность, теплофизические характеристики, долговечность и др.) и показатели сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия;

- условия транспортировки сырья и сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия к месту производства работ и уровень затрат на их доставку по сравнению с традиционно применяемыми материалами и изделиями;

- природные и климатические особенности района строительства и особенности применения в зданиях и помещениях;

- уровень технической и организационной оснащенности строительного производства, проектного комплекса, эксплуатации объектов и др.

Экономическая оценка преимуществ использования сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия осуществлялось на примере применения

газобетонных блоков в сравнении с аналогичными стенами, возведенными на обычных строительных растворах, путем сравнения экономической эффективности сопоставимых вариантов по комплексным текущим и капитальным затратам на разработку, транспортировку, производство и применение их в строительстве. При этом использовалась следующая формула для вычисления приведенных затрат [1].

$$П = \mu \left[C + E_n (K_n + \Sigma K_c) \right] + \frac{\mathcal{E}}{E_n} \cdot \beta, \quad (5.1)$$

где C – себестоимость;

K_n и K_c – соответственно прямые и сопряженные удельные, капитальные вложения;

E_n – нормативный коэффициент эффективности;

E_n – коэффициент приведения единовременных затрат;

\mathcal{E} – среднегодовые эксплуатационные затраты;

μ – коэффициент, учитывающий сроки службы конструкций;

β – процентная ставка банковского кредита.

Приведенные затраты определялись в расчете на единицу конечной продукции с учетом особенностей применения новых сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия:

- по цене получаемой продукции и затратам на доставку на единицу выпускаемой легкобетонной продукции;
- по степени возможного использования сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия на 1 м² ограждающей конструкции при сопоставимых климатических условиях районов строительства;
- по эксплуатационным показателям в расчете на единицу измерения сопоставляемых вариантов;
- в расчете на 1 м² жилой площади.

Экономическая оценка разработанных в диссертации технологических решений осуществлялась с учетом действующих методик Госстроя России (Инструкция СН 50970). Исходные материалы, необходимые для выполнения 1 м² глухой части стены, принимались аналогичными.

Порядок расчета годового экономического эффекта, согласно методике Госстроя, осуществлялся по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{Z}_{c1}) \cdot \alpha + [\mathcal{E}_2 - (\mathcal{E}_1 - \mathcal{Z}_{c2})] \cdot A_r, \quad (5.2)$$

где $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ – приведенные затраты на заводское изготовление сухих смесей с учетом транспортировки до строительной площадки по сравниваемым вариантам базовой и новой техники в рублях на единицу измерения;

$\mathcal{Z}_{c1}, \mathcal{Z}_{c2}$ – приведенные затраты по устройству стен зданий по сравниваемым вариантам базовой и новой техники в рублях на единицу измерения;

α – коэффициент изменения качественных показателей и возможности снижения расхода составляющих за счет их замены по сравнению с базовым вариантом.

Указанный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$\alpha(A_r) = \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}, \quad (5.3)$$

где P_1, P_2 – доли сметной стоимости конструкции стены в расчете на один год службы по сравниваемым вариантам;

E_n – нормативный коэффициент капиталовложений;

\mathcal{E}_3 – экономия в сфере эксплуатационных затрат конструкций стен помещения за срок их службы, принимается одинаковой для сравнительных вариантов;

A_r – годовой объем производства.

Основные технико-экономические показатели приведены в табл. 5.3.

При подсчете технико-экономических показателей были приняты сухие строительные смеси с комплексными добавками направленного действия различных рецептур. В качестве эталона был принят контрольный состав строительного раствора марки 100, как имеющего средние параметры свойств и расходов составляющих компонентов.

Экономическая оценка осуществлялась путем сравнения экономической эффективности сопоставимых вариантов по комплексным текущим и капитальным затратам на разработку,

транспортировку, производство и применение сухих растворных смесей в строительстве. При этом использовалась формула для вычисления приведенных затрат, указанные выше. Кроме того, принимались во внимание физико-технические и эксплуатационные показатели разработанных составов по сравнению с аналогами.

Таблица 5.3

Технико-экономические показатели различных вариантов сухих строительных смесей на 1 м³ растворной композиции

Вид сухой смеси (раствора)	Масса, кг/%	Коэффициента линейного расширения Коэффициент теплопроводности	Трещиностойкость/усадка, МПа мм/м	Себестоимость, руб.
Контрольный стандартный состав Мр 100	$\frac{1430-1480}{100}$	$\frac{1,1-1,4 \cdot 10^{-5}}{0,88-1,3} 1/^\circ\text{C}$	$\frac{2,3-3,4}{0,55-0,65}$	$\frac{3800-4200}{100}$
Состав № 1 Марка Мр 150	$\frac{1200-1400}{90}$	$\frac{0,9-1,2 \cdot 10^{-5}}{0,65-0,78} 1/^\circ\text{C}$	$\frac{3,8-5,9}{0,35-0,45}$	$\frac{3650-4300}{95-100}$
Состав № 2 Марка Мр 100	$\frac{1000-1200}{75}$	$\frac{0,7-1,0 \cdot 10^{-5}}{0,42-0,56} 1/^\circ\text{C}$	$\frac{4,6-6,1}{0,30-0,40}$	$\frac{3500-4250}{90-100}$
Состав № 3 Марка Мр 50	$\frac{800-1000}{62}$	$\frac{0,6-0,8 \cdot 10^{-5}}{0,31-0,48} 1/^\circ\text{C}$	$\frac{4,9-6,7}{0,25-0,35}$	$\frac{3200-4100}{80-95}$

Учитывая небольшую разницу в цене на выпускаемую продукцию по предлагаемым вариантам, получаемый экономический эффект может быть достигнут по следующим направлениям. Снижение расхода минерального вяжущего (цемента) на 10–15 % за счет того, что прочность затвердевшего строительного раствора на изгиб гораздо выше аналога. Кроме того, данные составы обладают высокой адгезионной способностью и трещиностойкостью, что обеспечивает их длительную работу в конструкции. Дополнительным положительным эффектом являются повышенные теплозащитные качества этих строительных растворов, что способствует снижению затрат на отопление в зимний период.

Таким образом, проведенные мероприятия по опытно-производственному внедрению результатов исследований и созданию новых рецептур сухих строительных смесей с корректирующими добавками позволяют сделать следующие выводы.

1. Предложена технологическая схема и рекомендован комплект стандартного и нестандартного технологического оборудования для производства сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия.

2. Осуществлен расчет производственных составов сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия и выработаны рекомендации по пробным (фактическим) составам для выпуска сухих смесей.

3. Организован выпуск сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия, из которых осуществлено строительство жилых домов в пригородной зоне г. Новосибирска. Обследование состояния экспериментальных наружных стен в зимний период показало их хорошее состояние и высокие теплозащитные свойства.

4. По материалам проведенных исследований выпущены Технические условия и Рекомендации для расширенного применения разработанных рецептур и технологии в производство.

5. Выполнены технико-экономические расчеты работы предприятий по выпуску сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия, показавшие высокую эффективность внедрения данных составов. Использование отходов асбестоцементного производства способствует не только улучшению свойств строительных растворов из сухих смесей, но и обеспечивают улучшение экологической обстановки вокруг населенных пунктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для получения строительных растворов из сухих строительных смесей целесообразно введение в их состав 10–15 % мас. дисперсных волокнистых техногенных добавок – отходов асбестоцементного производства. Это обеспечивает дисперсное армирование структуры затвердевших строительных растворов, повышение прочности при изгибе до 1,5–2,0 МПа, уменьшение теплопроводности в 2–3 раза, сближение коэффициента термического расширения с показателями основания.

Для повышения адгезионной способности строительных растворов целесообразно введение в состав сухих смесей проникающей добавки дегидрола и редиспергируемого сополимера винилацетата и этилена (ВАЭ), обеспечивающих упрочнение контактной зоны с каменным или бетонным основанием за счет более полного проникновения в его пористую структуру. Оптимальное количество дегидрола в сухой смеси составляет 1–3 % мас., что обеспечивает получение прочного сцепления с бетонным или каменным основанием с минимальной усадкой после твердения.

Для предотвращения негативного действия воды и отрицательных температур на процесс гидратации цемента в сухих строительных смесях с целью повышения прочности структуры и формирования микропористости целесообразно введение в их состав сухого редиспергируемого полимерного клеевого состава ВАЭ в количестве до 0,15–0,35 % от массы цемента, что обеспечивает повышение водостойкости в 1,5–2,0 раза и морозостойкости в 2–3 раза. Использование сухого клеевого порошка ВАЭ позволяет снизить водоцементное отношение и обеспечить требуемые реологические характеристики при производстве работ.

Для обеспечения длительной эксплуатации без нарушения целостности частей зданий в условиях большого климатического перепада температур необходимо сближение коэффициентов линейного термического расширения строительных растворов и стеновых материалов. Это достигается путем

введения в состав сухих строительных смесей различного количества дисперсных армирующих добавок. В случае легких бетонов (керамзитобетон, аглопоритобетон, перлитобетон и др.) целесообразная добавка отходов асбестоцементного производства (ОАЦП) составляет 5–12%; для газобетона и силикатного кирпича это количество составляет 10–17%, а для каменной кладки из керамического кирпича – 15–20%.

Методами ДТА и рентгенофазового анализа установлены особенности в бинарных и многокомпонентных системах на границах контактных зон: «заполнитель – цементный камень – минеральные добавки», которые обеспечивают повышение свойств материалов. Смещение термических эффектов на кривых ДТА в сторону более высоких температур свидетельствует об упрочнении структуры затвердевшего раствора при введении использованных добавок.

Предложена технология производства сухих строительных смесей на основе портландцемента с комплексом органоминеральных добавок, позволяющая получать материалы с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. Разработаны составы сухих строительных смесей для применения с различными стеновыми материалами, позволяющие получать прочность при сжатии затвердевших строительных растворов до 10,0–12,3 МПа, адгезию к каменному основанию до 1,8 МПа, усадку 0,25–0,45 мм/м, морозостойкость до 150 циклов.

Подготовлены и утверждены технические условия ВТУ-2675–370–006–11 «Сухие строительные смеси с комплексом органоминеральных добавок для каменных и монтажных работ», а также «Рекомендации» по их реализации, которые переданы в строительные организации. Разработанные материалы и технологические процессы внедрены при производстве сухих строительных смесей в заводских условиях в Новосибирской области и показали высокую эффективность от их использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белан В. И. Применение сухих смесей в строительстве Новосибирской области / В. И. Белан, Е. Г. Нерадовский, В. А. Безбородов // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в производстве строительных материалов. Ч. 1. – Новосибирск: НГАС, 1997. – С. 31–33.
2. Денисов Г. А. Заводы СССР, безотходные ТЭС и экологически чистые технологии// Строительные материалы. – 2002, – № 9. – С. 4–7.
3. Козлов В. В. Сухие строительные смеси: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2000. – 96 с.
4. Сухие строительные смеси и технология их применения/ В. А. Безбородов, Е. В. Парикова, А. П. Пичугин. – Монография. – Новосибирск: 2010, – 126 с.
5. Песцов В. И. Современное состояние и перспективы развития производства сухих строительных смесей в России. – Строительные материалы. – 1999. – № 3.
6. Денисов Г. А. Производство и использование сухих строительных смесей // Строительные материалы XXI века. – 2011, – № 1. – С. 14–17.
7. Кандауров И. И. Механика зернистых сред и её применение в строительстве. Л.: Стройиздат, 1988. – 280 с.
8. Шентяпин А. А., Султанов А. В. Принципы проектирования сухих отделочных смесей // Актуальные проблемы в строительстве. Образование. Наука. Практика: Материалы 59-й НТК СамГАСА, Самара, 2002.
9. Панченко А. И., Несветаев Г. В. Сухие смеси в России: особенности производства и применения//Строительные материалы. – 2002, – № 5. – С. 55–60.
10. Лесовик В. С., Хахардин А. Н., Погорелов С. А, К методологии проектирования сухих строительных смесей//Изв. Вузов. Строительство, 2001, № 2, 3. – С. 51–54.
11. Барбакадзе Е. Ш., Козлов В, В., Мигульский В. Г. Долговечность строительных конструкций и сооружений из конструкционных материалов. – М.: Стройиздат, 1995. – 147 с.
12. Демьянова В. С. Сравнительная оценка влияния отечественных и зарубежных суперпластификаторов на свойства цементных композиций / В. С. Демьянова, В. И. Калашников, И. Е. Ильина// Строительные материалы. – 2002. – № 9. – С. 4–6.
13. Герман Лутц, Мешков П. И. Полимерные вяжущие в продуктах строительной химии, Будівництво України, 1996, № 5, С. 32–35.

14. Мешков П. И. Полимеры Виннапас для модификации продуктов строительной химии. Новосибирск, 1997.

15. П. И. Мешков, В. А. Мокин. Способы оптимизации составов сухих строительных смесей // Строительные материалы. – 2000, – № 5. – С. 26–27.

16. Батраков В. Г., Бабаев Ш. Т., Белильков Н. Ф. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности. Бетон и ж/бетон, № 11, 1988.

17. Шульце Й. Редиспергируемые порошки в цементных смесях.

18. Козлов В. В., Ремейко О. А. Отделка железобетонных и бетонных изделий. – М.: Высшая школа, 1987, 184 с.

19. Отделочные работы в строительстве / под редакцией А. Д. Кокина и В. Е. Байера. – М.: Стройиздат, 1987. – 656 с. (справочник строителя).

20. Коган Г. С. Северинова Г. В. Индустриальная отделка зданий, М. Стройиздат, 1975, 191 с.

21. Панченко А. И., Дилгер У. Обеспечение качества сухих смесей и их эффективного использования // Строительные материалы. – 2002, – № 5. – С. 45–47.

22. Локуциевский В. А., Нестерова Т. Л., Каневская Е. А. В сб.: Новое в технике и технологии лакокрасочных покрытий, Вып. 4, Изд. НИИТЭХИМ, – 1971, С. 91.

23. Сухие смеси для отделочных и общестроительных работ: Монография / А. А. Шептянин; Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. Самара, 2004. – 119 с.

24. Телешов А. В., Сапожников В. А. Установки по производству сухих строительных смесей малой мощности // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. 2003. – № 5. – С. 28–29.

25. Бродский Ю. А., Чурилин Б. Б. Оборудование для производства сухих строительных смесей // Строительные материалы. – 2000. – № 5.

26. Пичугин А. П., Бурковская Н. И. Материалы для сельских строок. – Омск: Книжное издательство, 1989. – 144 с.

27. Рогонский В. А., Костриц А. И., Шеряков В. Ф. Эксплуатационная надежность зданий. – Л.: Стройиздат, – 1983. – 280 с.

28. Пичугин А. П. Ремонт производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений. – М.; Стройиздат, – 1984. – 112 с.

29. Бойко М. Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. – Л.-д., Стройиздат, 1986. – 256 с.

30. Ильин Н. А. Техническая экспертиза зданий, поврежденных пожаром. – М.: Стройиздат. – 1983. – 200 с.

31. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. – М.: Стройиздат, – 1985. – 175 с.
32. Строительные материалы: учеб. для вузов / В.Г. Миккульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов, В.Н. Круприянов, Л.П. Оrentлихер, Р.З. Рахимов, Г.П. Сахаров, В.М. Хрулев, под общ. ред. профессора В.Г. Миккульского. – М.: АСВ, – 2000. – 536 с.
33. Полак А.Ф., Гельфман Г.Н., Яковлев В.В. Антикоррозионная защита строительных конструкций на химических и нефтехимических предприятиях. – Уфа, Башкирское кн.изд-во, – 1980. – 80 с.
34. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии. старения и износа. Харьков: «Вища школа», – 1989. – 168 с.
35. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
36. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. – М.: Стройиздат. – 1968. – 187 с.
37. Вербецкий Г.П. Прочность и долговечность бетона в водной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 128 с.
38. Москвин В.М., Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Гузев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
39. Мощанский Н.А. Повышение стойкости строительных материалов, работающих в условиях агрессивных сред. М.: Госстройиздат, 1962. – 234 с.
40. Порывай Г.А. Предупреждение преждевременного износа зданий. – М.: стройиздат, 1979. – 284 с.
41. Шаталова Н.П. Модифицированные цементные растворы для уплотнения фильтрующего бетона промышленных сооружений. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1991. – 18 с.
42. Баженов Ю.М. Бетонополимеры. М.: Стройиздат. – 1983. – 470 с.
43. Литвин А.Н. Железобетонные конструкции с полимерными покрытиями. – М.: Стройиздат, 1974. – 175 с.
44. Соломатов В.И. Технология полимербетонов и армополимербетонных изделий. – М.: Стройиздат. – 1984. – 144 с.
45. Соломатов В.И., Селяев В.П. Химическое сопротивление композиционных материалов. – М.: Стройиздат, – 1987. – 264 с.
46. Комар А.Г., Баженов Ю.М., Сулименко Л.М. Технология производства строительных материалов. – М.: Высшая школа. – 1990. – 446 с.
47. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. – М.: Стройиздат. – 1986. – 668 с.

48. Нейман А. Г., Копылов В. М., Иванов В. В., Хазанов И. И., Астапов Б. А., Маркузе И. Ю. Новые водозащитные составы на основе кремнийорганических соединений // Проектирование и строительство в Сибири. – 2002. – № 4 (10). – С. 6–11.

49. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. – М.: – Стройиздат, – 1990. – 400 с.

50. Ерофеев В. Г., Мищенко Н. И., Селяев В. П., Соломатов В. И. Каркасные строительные композиты. – Саранск: изд-во Мордовского ун-та. – 1995. – 200 с.

51. Кудряшов А. Ю., Хританков В. Ф., Пичугин А. П. Диффузионные процессы пропитки строительных материалов полимерами // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры, № 23. – Одесса: «МИСТО МАЙСТРИВ». – 2006. – С. 143–145.

52. Арников А. С. Стойкие к динамическим нагрузкам и газопроницанию волокнистые дисперсно-упрочненные композиционные материалы для конструкций сооружений специального назначения: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Воронеж, 2006. – 44 с.

53. Стрижевский И. В., Иоффе Э. И. Антикоррозионные покрытия городских подземных трубопроводов: обзорная информация. – М.: ЦБНТИ. – 1985. – 43 с.

54. Касимов И. К., Федотов В. Л. Пропитка цементного камня органическими вяжущими. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1981–168 с.

55. Выровой В. Н., Лященко С. В. Физико-химическая механика и оптимизация композиционных материалов. – Киев: Знание, 1988, – 219 с.

56. Соломатов В. И., Выровой В. Н. Физические особенности формирования структуры композиционных строительных материалов // Изв. высш. учеб. завед. Строительство и архитектура, 1984, № 8. – С. 48–52.

57. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, – 1989. – 188 с.

58. Баженов Ю. М., Иванов Ф. М. Бетон с химическими добавками. – М.: Б.и., 1987. – 57 с.

59. Чеховский Ю. В. Механизмы переноса газов и жидкостей через бетон и методы исследования пор бетона. «ВНИИСТ». – М., 1961.

60. Bulle H. B., Maer L. S. Streaming Potential in small capillaries, «Y. Phys, chern», 1966, m.40.

61. Rietter H. L., Drake L. C., Ind. Eng. Chern Qnal, 17, 1985.

62. Калашников В.И., Махамбетова К.Н. Коррозионная стойкость цементно-песчаных растворов в агрессивной среде // Строительные материалы. – 2010. – № 11. – С. 12–13.
63. Шибеева Г.Н. Шпатлевка на основе полимерсиликатного вяжущего и отходов гидролизного производства // Строительные материалы. – 2010. – № 5. – С. 62–64.
64. Королев А.С. Управление структурой и свойствами цементных гидроизоляционных бетонов введением комплексных уплотняющих добавок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1999. – 25 с.
65. Иванов Ф.И., Батраков В.Г., Лагойда А.В. Основные направления применения химических добавок в бетоны // Бетон и железобетон, – 1981. – № 9. – С. 3–5.
66. Алимов Л.А. Развитие теории и совершенствование технологии бетона на основе его структурно-технологических характеристик. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Москва, 1982. – 40 с.
67. Макарова Л.В. Повышение трещиностойкости защитно-декоративных покрытий наружных стен зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2004. – 21 с.
68. Дорофеев В.С., Вывовой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: ОГАСА, 1998. – 168 с.
69. Баженов Ю.М. Бетонополимеры. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.
70. Козлов В.В., Ремейко О.А. Отделка железобетонных и бетонных изделий. – М.: «Высшая школа», 1987. – 184 с.
71. Соломатов В.И., Селяев В.П. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. – М., 1987.
72. Михайлов К.В. Волков Ю.С. Бетон и железобетон в строительстве. – Стройиздат, 1987, – 103 с.
73. Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами / А.А. Пашенко, В.П. Сербин, А.П. Паславская и др. – М., 1988.
74. Пшеничный Г.Н. Элементы стадийного структурообразования цементных систем и их практическое значение. Краснодар, КГТУ, 2006. – 225 с.
75. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – Москва, – Стройиздат, 1989. – 188 с.
76. Баженов Ю.М., Иванов Ф.М. Бетон с химическими добавками. – М.: Б.и., 1987. – 57 с.

77. Афанасьев Н. Ф., Целуйко М. К. Добавки в бетоны и растворы. – Киев: Будивельник, 1989. – 127 с.

78. Соломатов В. И., Выровой В. Н. и др. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. – Киев, «Будивельник», 1991. – 144 с.

79. Горчаков Г. И. Морозостойкость бетона в зависимости от его капиллярной пористости // Бетон и железобетон. 1964. № 2. – С. 12–15.

80. Пичугин А. П., Городецкий С. А., Бареев В. И. Коррозионно-стойкие материалы для защиты полов и инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений. (Монография). НГАУ-РАЕН. – Новосибирск, 2010. – 123 с.

81. Городецкий С. А., Бареев В. И., Пичугин А. П. Реологические исследования пропиточных композиций // Строительное материаловедение: состояния, тенденции и перспективы развития. Междунар. сб. научн. трудов. Новосибирск, «Стройсиб-2011». – С. 145–151.

82. Стольников В. В., Литвинова Р. Е. Трещиностойкость бетон – М.: «Энергия», 1972. – 113 с.

83. Патуроев В. В. Полимербетоны. – М.: Стройиздат, – 1987. – 286 с.

84. Курочка П. Н. Стойкость бетона в органических агрессивных средах. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2000. – 58 с.

85. Дудынов С. В. Композиционные материалы с экологически чистыми добавками. Саранск, изд-во Сордовского университета, 2003. – 136 с.

86. Черкинский Ю. С. Полимерцементный бетон. – М.: Стройиздат, – 1980. – 384 с.

87. Мохов В. Н., Сахибгареев Р. Р. и др. Конструкции и изделия повышенной прочности, ударной стойкости и долговечности из бетонов с демпфирующими компонентами. – Уфа, 1988. – 70 с.

88. Мохов В. Н. Повышение ударной стойкости и прочности бетонов введением демпфирующих компонентов: автореф. дис ... канд. техн. наук. – Л., 1995. – 23 с.

89. Харатишвили И. А., Наназашвили И. Х. Прогрессивные строительные материалы. – М., 1987. – 243 с.

90. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд. 2-е перераб. и дополн. – М.: Наука, 1976. – 276 с.

91. Зедгенидзе И. Г. Планирование эксперимента при исследовании многокомпонентных смесей. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

92. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдений: учебн. пособие для ВУЗов. – М.: Наука, 1970. – 108 с.
93. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М., Статистика, 1974. – 192 с.
94. Баженов Ю. М., Вознесенский В. А. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона. – М., Стройиздат, 1974. – 192 с.
95. Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В., Огаров Б. Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. – К., Вища школа, 1989. – 328 с.
96. Беляева Э. С., Монахов В. М. Экспериментальные задачи. – М., Просвещение, 1977. – 64 с.
97. Книгина Г. И., Тацки О. Н., Кучерова Э. А. Современные физико-химические методы исследования строительных материалов. – Новосибирск, 1981. – 82 с.
98. Горшков В. С. Термография строительных материалов. – М., Стройиздат, 1968. – 145 с.
99. Топор Н. Д. Дифференциально-термический и термовесовой анализ минералов. – М.: «Недра», 1964. – 324 с.
100. Берг Л. Г., Бурмистрова Н. П. и др. Практическое руководство по термографии. – Казань, изд. Казанского университета, 1976. – 84 с.
101. Методы исследования цементного камня и бетона (методическое пособие по применению световой и электронной микроскопии, калориметрического, рентгенографического и дифференциально-термического методов), под ред. Ларионовой З. М., – М., – Стройиздат, 1970. – 273 с.
102. Казанский В. М., Петренко И. Ю. Физические методы исследования структуры строительных материалов. – Киев, КИСИ, 1984. – 76 с.
103. Беркман А. С., Мельникова И. Т. Структура и морозостойкость стеновых материалов, Госстройиздат. – М., 1962.
104. Горчаков Г. И., Лифанов И. И. Основные вопросы методики дилатометрических исследований. Известия вузов «Строительство и архитектура», № 10, 1968. – С. 18–20.
105. Горчаков Г. И., Лифанов И. И. и др. Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов. – М., Стандартиздат, 1968. – 364 с.
106. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. Изд. «Мир». – М., 1970. – 138 с.

107. Кудяков А. И., Свергунова Н. А., Иванов М. Ю. Зернистый теплоизоляционный материал на основе жидкостекольной композиции. Томск, ТГАСУ, 2010. – 204 с.

108. Мишутин А. В., Мишутин Н. В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных конструкций плавучих и портовых гидротехнических сооружений. Одесса, ОЦНТиЭИ, 2003. – 292 с.

109. Алехин Ю. А., Люсов А. Н. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. М., 1988. – 148 с.

110. Нестеров В. В. Снижение материалоемкости строительства в условиях Сибири и Дальнего Востока. – Л-д: Стройиздат, 1986. – 136 с.

111. Баженов Ю. М., Дворкин Л. И. Ресурсосбережение в строительстве за счет применения побочных промышленных продуктов: Учебное пособие / ЦМИПКС. – М., 1986, – 67 с.

112. Долгорев А. В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов: (Физ.-хим. анализ): Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1990. – 455 с.

113. Дорофеев В. С., Выровой В. Н., Соломатов В. И. Пути снижения материалоемкости строительных материалов и конструкций. – Киев, 1989. 78 с.

114. Алехин Ю. А., Люсов А. Н. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 342 с.

115. Буренкова Л. А. Экономия основных строительных материалов. – К., 1979. – 173 с.

116. Потапов А. И. Контроль качества и прогнозирование надежности конструкций из композиционных материалов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 261 с.

117. Физдель И. А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. – М.: Стройиздат, 1987. – 336 с.

118. Кикава О. Ш. Контроль качества при изготовлении строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 111 с.

119. Гришина А. Н., Королев Е. В., Хлыстунов М. С. Усадочные деформации радиационно-защитных строительных материалов на основе жидкого стекла // Строительные материалы. – 2010, – № 6. – С. 59–61.

120. Галка Р. А. Определение глубины проникновения в бетон проникающей гидроизоляции на примере состава «Лахта» // Строительные материалы. – 2003, – № 8. – С. 40–41.

121. Соломатов В.И., Выровой В.Н. и др. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. – Киев, «Будивельник», 1991. – 144 с.
122. Михайлов К.В., Волков Ю.С. Бетон и железобетон в строительстве. – М., Стройиздат, 1987. – 103 с.
123. Горчаков Г.И., Орентлихер Л.П., Лифанов И.И. и др. Повышение трещиностойкости и водостойкости легких бетонов. – М.: Стройиздат, 1971. – 587 с.
124. Сизиков С.А., Вяткин Г.М. Оборудование для производства сухих строительных смесей // Строительные материалы. – 2003, – № 2 – С. 45–47.
125. Чурилин Б.Б., Зайцева И.В. Производство сухих строительных смесей на базе асфальтобетонных заводов // Строительные материалы. – 1998. – № 9. – С. 51–52.
126. Чурилин Б.Б., Захарова Е.Б., Зайцева И.В. Комплект оборудования по производству ССС производительностью до 20 тыс. т в год// Строительные материалы. – 2003. – № 2. – С. 45–47.
127. Увеличение прочности сцепления заполнителя с цементным камнем: Заявка 255254 Япония, МКИ⁵ С 04 В 28/02 /Аояма Мики, Хаяси Йосимаса, Огава Харука, Наканэ Ацуси, Кубота Сёго, Итиноэ Кэнъити, Миура Норихико. Заявл. 22.08.88. Оpubл. 23.02.90.
129. Способ увеличения прочности сцепления заполнителя с цементным камнем: Заявка 255251 Япония, МКИ⁵ С 04 20/10 / Аяома Микки, Хаяси Йосимаса, Огава Харука, Наканэ Ацуси, Кубота Сёго, Итиноэ Кэнъити, Миура Норихико. Заявл. 22.08.88. Оpubл. 23.02.90.
130. Liu Yuanzhan. Прочность сцепления цементного камня с заполнителем / Liu Yuanzhan, Yang Peiyi, Zhang Chengyi, Tang Mingshu // J. Chin. Silic. Soc. – 1988. – 16, № 4. – С. 289–295.
131. Scrivener K.L. A study of the interfacial region between cement paste and aggregate in concrete / Scrivener Karen L., Crumby Alison K., Pratt P.L.//Bond. Ctvntitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec. 2–4,1987. – Pittsburgh (Pa), 1988. – С. 87–88.
132. Ахмедов Р.К. Роль природы заполнителя в эффекте действия пластифицирующих добавок в бетон / Р.К. Ахмедов, М.Р. Камилова, Р.З. Копп, Ф.Л. Геккель // Узб. хим. ж. – 1989. – № 6. – С. 18–20.
133. Аль-Фрихат Ахмад. Взаимосвязь гидрофильности заполнителя и прочности бетона / Аль-Фрихат Ахмад, Э.А. Зарипов // Узб. хим. ж. – 1990. – № 5. – С. 6–7.

134. Okpala D.C. Effect of fine aggregate on pore structure of hardened cement paste and mortar / D.C. Okpala // J. Inst. Eng (India). Civ. Eng. Div. – 1989. – 69, № 1. – С. 26–31.

135. Бабков В.В. Механизм упрочнения цементных связей при использовании тонкодисперсных заполнителей / В.В. Бабков, П.Г. Комохов, С.М. Капитонов, Р.Н. Мирсанов // Цемент. – 1991. – № 9–10. – С. 34–41.

136. Microsilica takes the strain // Brit. Ceram. Rev. – 1991. – № 86. – С. 38.

137. Mchedlov-Petroasyan O.P. Sulla funzione della riserva di clinkernella formazione delle proprietà dei materiali cementizi / O.P. Mchedlov-Petroasyan, V.L. Chernyavsky // Cemento. – 1990. – 87, № 4. – С. 228–234.

138. Исаев В.С. Особенности поведения бетона на известняковом щебне при нагружении / В.С. Исаев, В.Т. Никулин // Радикал. Эконом. Реформа в стране и промышленности строит. Матер., изделий и конструкций: Тез. докл. к обл. конф./ Горьк. обл. правл. Всес. науч.-техн. о-ва строит. индустрии. – Горький, 1990. – С. 57–59.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ.....	7
1.1. Применение сухих смесей в строительстве	7
1.2. Минеральные компоненты сухих строительных смесей... 12	
1.3. Модификация сухих строительных смесей полимер- ными добавками	21
1.4. Факторы, влияющие на структуру и прочность мате- риалов из сухих строительных смесей	29
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НОВЫХ СОСТАВОВ И ПРИНЯТЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	37
2.1. Характеристика материалов, используемых в исследо- ваниях	37
2.1.1. Минеральные вяжущие	37
2.2. Методика изготовления образцов и проведения испы- таний.....	48
2.3. Физико-химические методы исследования цементного камня с добавками.....	57
2.4. Методы математического планирования и обработки результатов исследований	59
Глава 3. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫ- МИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ	61
3.1. Разработка составов сухих строительных смесей	61
3.2. Влияние состава на трещиностойкость строительных растворов из сухих смесей	66
3.3. Влияние состава на адгезионную способность раство- ров из сухих строительных смесей	73
3.4. Определение эксплуатационных характеристик строи- тельных растворов из сухих строительных смесей с добавками направленного действия	82
3.5. Оптимизация состава и технологических параметров изготовления сухих строительных смесей	97

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ИЗ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С КОМПЛЕКСНЫМИ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ.....	103
4.1. Разработка модели работы строительного раствора из сухих строительных смесей с добавками	103
4.2. Исследование массопереноса в затвердевших строительных растворах и их пористой структуры.....	104
4.3. Исследование структуры строительных растворов из сухих смесей.....	111
Глава 5. ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ...	121
5.1. Разработка технологической схемы производства сухих строительных смесей с комплексными добавками направленного действия	121
5.2. Опытнo-производственное внедрение результатов исследований	124
5.3. Контроль качества и техника безопасности при производстве и применении строительных растворов из сухих смесей.....	130
5.4. Экономическая эффективность внедрения сухих строительных смесей с комплексными органоминеральными добавками.....	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	146
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	148

Анатолий Петрович Пичугин,
Владимир Федорович Хританков,
Иван Васильевич Белан

**СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ
С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Монография

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка *В. Н. Зенина*

Подписано в печать 22 сентября 2014 г. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Объем 5,9 уч.-изд. л., 10,0 усл. печ. л. Тираж 500 экз.
Заказ № 1137.

Отпечатано в Издательском центре «Золотой колос»
Новосибирского государственного аграрного университета
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел. (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru