

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

В.И. Логанина, Е.Е. Симонов

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИАТОМИТА**

Пенза 2013

УДК 691.3:620.197(035.5)

ББК 38.637

Л69

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент
С.Н. Кислицына (ПГУАС);
кандидат технических наук, профессор,
заслуженный строитель РФ, генераль-
ный директор ООО «Техностройпроект»
В.С. Абрашитов

Логанина В.И.

Л69 Теплоизоляционные сухие строительные смеси с приме-
нием диатомита: моногр. / В.И. Логанина, Е.Е. Симонов. –
Пенза: ПГУАС, 2013. – 128 с.

ISBN 978-5-9282-0929-2

Приведены сведения о рецептуре и свойствах теплоизоляционной сухой строительной смеси с применением диатомита и покрытий на ее основе. Рассмотрены вопросы активации диатомита.

Для научных и инженерно-технических работников строительных организаций, а также студентов строительных вузов обучающихся по направлению 221700 «Стандартизация и метрология».

ISBN 978-5-9282-0929-2

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2013
© Логанина В.И., Симонов Е.Е., 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Устойчивая тенденция повышения стоимости топливно-энергетических ресурсов приводит к необходимости повышения теплозащиты зданий. Создание, производство и рациональное применение теплоизоляционных материалов позволяет снизить материалоемкость ограждающих конструкций зданий и сооружений, а также уменьшить тепловые потери в окружающую среду. Одним из рациональных способов повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий является дополнительное наружное утепление их ограждающих конструкций за счет применения теплоизоляционного отделочного слоя. На протяжении примерно 40 лет системы теплоизоляционных фасадов с тонким штукатурным слоем используются в качестве наружной фасадной изоляции. В Германии более 700 млн м² фасадов были теплоизолированы с применением теплоизоляционных фасадов с тонким штукатурным слоем.

В практике строительства при выполнении отделочных работ все большее применение находят сухие строительные смеси (ССС). В структуре цены СССР себестоимость сырья составляет от 30–40 %. В связи с этим актуальным является применение местных материалов.

В России, в том числе и на территории Поволжья, имеются значительные запасы диатомита, который может быть применен при изготовлении СССР, обладать повышенной эксплуатационной стойкостью.

В первой главе монографии представлен материал о видах теплоизоляционных сухих строительных смесях, востребованных на рынке строительных материалов. Описано применение диатомита

Во второй главе рассмотрены способы активации диатомита. Описаны закономерности активации диатомита золем кремниевой кислоты. Приведены данные, полученные методом атомно-силовой

микроскопии (АСМ), РФА, ДТА, оптической микроскопии. Показано повышение однородности структуры диатомита, модифицированного золев кремниевой кислоты. Выявлено увеличение активности диатомита, модифицированного золев кремниевой кислоты, как гидравлической добавки.

В третьей главе приведены сведения о закономерностях структурообразования известковых композитов в присутствии диатомита, модифицированного золев кремниевой кислоты. Показано, что составы на основе модифицированного диатомита характеризуются большим количеством связанной извести.

Четвертая глава содержит сведения о влиянии отделочного слоя на основе разработанной теплоизоляционной сухой строительной смеси на тепловлажностное состояние ограждающих конструкций зданий. Показано, что при применении в качестве штукатурки разработанного известково-диатомитового состава наблюдается смещение нулевой изотермы в сторону пониженных температур на 0–9 мм в зависимости от вида утеплителя и климатических условий эксплуатации.

Издание предназначено в качестве дополнительной литературы для студентов, инженерно-технических работников, занимающихся вопросами производства строительных материалов, изделий и конструкций.

Авторы будут признательны за все замечания, высказанные по содержанию книги.

1. СУХИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ

1.1. Сухие теплоизоляционные строительные смеси

Устойчивая тенденция повышения стоимости топливно-энергетических ресурсов приводит к необходимости повышения теплозащиты зданий. Задача экономии энергоносителей актуальна во всём мире и решается параллельно по различным направлениям. Одно из них – использование новых эффективных теплоизоляционных строительных материалов. Создание, производство и рациональное применение таких материалов позволяет снизить материалоемкость ограждающих конструкций зданий и сооружений, а также уменьшить тепловые потери в окружающую среду. Это снижает остроту проблем, возникших с переходом к новым нормам проектирования и строительства.

В настоящее время наблюдается отставание России по энергосбережению в коммунальном хозяйстве, где расходуется до 20 % всех энергоресурсов страны, а на единицу жилой площади расходуется в 2...3 раза больше энергии, чем в странах Европы. Так, жилые многоэтажные здания потребляют в России от 350 до 550 кВт·ч/(м²·год), индивидуальные дома коттеджного типа – от 600 до 800 кВт·ч/(м²·год). Вместе с тем за рубежом, например в Германии, дома усадебного типа потребляют в среднем по стране около 250 кВт·ч/(м²·год), в Швеции – 135 кВт·ч/(м²·год). Лучшие зарубежные образцы жилых зданий потребляют от 90 до 120 кВт·ч/(м²·год).

Известно, что 1 м³ теплоизоляции обеспечивает экономию 1,4...1,6 тонны условного топлива в год. Энергосберегающее строительство с использованием современных теплоизоляционных материалов считается в 3...4 раза эффективней, чем традиционное строительство, ведущее к энергоемкому производству строительных материалов, освоению новых месторождений топлива, его добыче, транспортировке, переработке и сжиганию.

Одним из рациональных способов повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий относится дополнительное наружное утепление их ограждающих конструкций за счет применения теплоизоляционного отделочного слоя. В практике строительства при выполнении отделочных работ все большее применение находят сухие строительные смеси (ССС) [3, 10, 13, 29, 32, 41, 43, 44, 85, 93, 95].

В настоящее время отечественный рынок сухих смесей – один из наиболее динамично развивающихся сегментов отрасли строительных

материалов. Темпы прироста объемов выпуска сухих строительных смесей не опускаются ниже 40–50 % в год.

По оценкам специалистов, сегодня российский потребитель ежегодно с учетом импорта смесей использует около 2 млн т сухих смесей. Причем большую часть прироста рынка обеспечивают российские смеси. Потенциальную же емкость рынка можно оценить в 3,5 млн т – это годовой оборот всех сухих строительных смесей как модифицированных, так и простых строительных составов.

Среди более крупных производителей сухих строительных смесей необходимо назвать следующие:

- предприятие «Боларс» (Московская область, Воскресенский район), торговая марка «БОЛАРС»;

- ООО «Вефт» (Московская область, г. Королев), торговая марка «МОНОЛИТ»;

- ЗАО «Глимс Продакшн» (г. Москва), торговая марка «ГЛИМС»;

- ЗАО «ЕК Кемикал» (г. Нижний Новгород), торговая марка «ЕК»;

- ЗАО ПП «Крепе» (г. Санкт-Петербург), торговая марка «КРЕПС»;

- ООО «Старатели» (Московская область);

- ООО «Юнистром-Трейдинг» (г. Москва);

- совместное российско-германское предприятие МС-Vauchemie Russia;

- группа предприятий «КНАУФ»;

- фирма «Optiroc» (Финляндия), торговая марка «Бетонит»;

- «Atlas», «Sopro» (Польша);

- «Henkel», «Pufas» (Германия).

Ориентируясь на опыт западных производителей аналогичной продукции, когда объемы использования сухих смесей в развитых странах составляют до 50 % от выпуска растворов, можно прогнозировать дальнейший рост производства сухих смесей [105]. При этом, наметившаяся тенденция повсеместного замещения импорта национальной продукцией, несомненно, будет развиваться. Вместе с тем, первостепенной задачей для отечественных производителей сухих строительных смесей является не только увеличение объемов производства, но и улучшение качества выпускаемой продукции с расширением ассортимента и повышением эффективности использования модифицирующих добавок в составах строительных смесей.

Классификация сухих строительных смесей осуществляется в соответствии с ГОСТ 31189-2003 «Смеси сухие строительные. Классификация». Сухие строительные смеси классифицируют по:

- основному назначению;
- применяемому вяжущему;
- наибольшей крупности заполнителей.

По основному назначению смеси подразделяют на следующие виды:

- выравнивающие;
- облицовочные;
- напольные;
- ремонтные;
- защитные;
- кладочные;
- монтажные;
- декоративные;
- гидроизоляционные;
- теплоизоляционные;
- грунтовочные.

Выравнивающие смеси по способу нанесения подразделяют на:

- штукатурные;
- шпаклевочные.

Облицовочные смеси подразделяют на:

- клеевые;
- шовные.

Напольные смеси подразделяют на:

- выравнивающие;
- несущие.

Напольные смеси в зависимости от технологии устройства подразделяют на:

- уплотняемые;
- самоуплотняющиеся;
- затирочные.

Ремонтные смеси подразделяют на:

- поверхностные;
- инъекционные.
- Защитные смеси подразделяют на:
 - ингибирующие;
 - saniрующие;

- биоцидные;
- огнезащитные;
- коррозионно-защитные;
- морозозащитные;
- радиационно-защитные.

Гидроизоляционные смеси подразделяют на:

- поверхностные;
- проникающие.

Проникающие смеси подразделяют на:

- инъекционные;
- капиллярные.

По применяемым вяжущим смеси подразделяют на:

- цементные;
- гипсовые;
- известковые;
- полимерные;
- сложные.

По наибольшей крупности зерен заполнителей ($D_{\text{макс}}$) смеси подразделяют на:

- бетонные;
- растворные;
- дисперсные.

Условное обозначение смесей на сложном вяжущем должно включать перечень применяемых вяжущих; первым следует называть вяжущее, массовая доля которого является наибольшей по сравнению с другими вяжущими.

Сухие смеси должны соответствовать требованиям нормативных документов и изготавливаться по технологической документации, утвержденной предприятием-изготовителем.

Свойства сухих смесей характеризуются показателями качества смесей в сухом состоянии, смесей, готовых к применению, и затвердевшего раствора

Основными показателями качества сухих смесей должны быть:

- влажность;
- наибольшая крупность зерен заполнителя;
- содержание зерен наибольшей крупности;
- насыпная плотность (при необходимости).

Основными показателями качества смесей, готовых к применению, должны быть:

- подвижность (кроме клеевых, для клеевых при необходимости);
- сохраняемость первоначальной подвижности;
- водоудерживающая способность;
- объем вовлеченного воздуха (при необходимости).

Основными показателями качества затвердевшего раствора (бетона) должны быть:

- прочность на сжатие (кроме клеевых);
- водопоглощение;
- морозостойкость (кроме смесей для внутренних работ);
- прочность сцепления с основанием (адгезия);
- водонепроницаемость (для гидроизоляционных смесей и при необходимости);
- истираемость (для напольных смесей и при необходимости);
- морозостойкость контактной зоны (кроме смесей для внутренних работ).

Для смесей конкретного вида устанавливают следующие дополнительные показатели качества в соответствии с областью их применения:

- прочность на растяжение при изгибе;
- деформации усадки (расширения);
- стойкость к ударным воздействиям;
- модуль упругости;
- теплопроводность;
- паропроницаемость;
- коррозионная стойкость при различных видах коррозии.

При необходимости устанавливают другие показатели в соответствии с ГОСТ 4.212, ГОСТ 4.233, условиями контракта.

Условное обозначение сухих смесей должно состоять из наименования соответствующих классификационных признаков в соответствии с ГОСТ 31189, обозначения основных технических показателей смесей (при необходимости) и обозначения нормативного или технического документа на смеси конкретных видов.

Примеры условного обозначения:

- сухой строительной растворной смеси на цементно-известковом вяжущем, ремонтной, поверхностной, марки по подвижности П_{к3}, марки по прочности на сжатие М75, марки по морозостойкости F100:

Смесь сухая растворная, цементно-известковая, ремонтная, поверхностная П_{к3}, М75, F100 (обозначение нормативного или технического документа на смесь конкретного вида);

- сухой строительной дисперсной смеси на цементном вяжущем, выравнивающей, шпаклевочной, марки по подвижности П_{к3}, марки по прочности на сжатие М100, марки по морозостойкости F50:

Смесь сухая дисперсная, шпаклевочная П_{к3}, М100, F50 (обозначение нормативного или технического документа на смесь конкретного вида)

Влажность сухих смесей не должна превышать, % по массе:

0,2 – для смесей на цементных и смешанных (сложных) вяжущих, содержащих цемента 80 % массы смешанного вяжущего и более;

0,3 – для смесей на смешанных (сложных) вяжущих, содержащих цемента менее 80 % массы смешанного вяжущего.

5,00 – для растворных смесей;

0,63 – для дисперсных смесей.

Подвижность смесей, готовых к применению, определяют:

- по погружению П_к и расплыву конуса РК, см, – для растворных и дисперсных смесей соответственно;

- по расплыву кольца Р_к, см, – для дисперсных самоуплотняющихся смесей.

Подвижность смесей должна быть обеспечена при затворении водой в количестве, указанном на маркировке. Марку по подвижности и критерий оценки подвижности устанавливают в нормативных или технических документах на сухие смеси конкретных видов в зависимости от их назначения.

Сохраняемость первоначальной подвижности смесей, готовых к применению, определяют временем сохранения первоначальной подвижности в минутах. Сохраняемость первоначальной подвижности смесей должна быть не менее времени, в течение которого смесь выработывается.

Водоудерживающая способность смесей, готовых к применению, должна быть не менее 90 %, содержащих водоудерживающие добавки, – не менее 95 %.

Нормируемые показатели качества затвердевших растворов должны быть обеспечены в проектном возрасте в условиях нормально-влажностного ($t = 18...20$ °С, относительная влажность воздуха более 95 %) или естественного твердения ($t = 20...23$ °С, относительная влажность воздуха 50...60 %) в зависимости от области применения смесей конкретных видов.

Для растворов в проектном возрасте устанавливают следующие классы (марки):

– по прочности на сжатие классы: В10, В15, В20, В22,5, В25, В30, В35, В40, В45, В50; марки: М5, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200, М250, М300;

– по прочности на растяжение при изгибе классы: В_{тб}0,4; В_{тб}0,8; В_{тб}1,2; В_{тб}1,6; В_{тб}2,0; В_{тб}2,4; В_{тб}2,8; В_{тб}3,2; В_{тб}3,6; В_{тб}4,0; В_{тб}4,4; В_{тб}4,8; В_{тб}5,2.

Водопоглощение затвердевших растворов (бетонов) при насыщении водой в течение 48 ч и полном погружении образцов в воду не должно превышать, % по массе:

– 8,0 – для смесей на цементных и смешанных (сложных) вяжущих, содержащих цемента 80 % массы смешанного вяжущего и более;

– 15,0 – для смесей на смешанных (сложных) вяжущих, содержащих цемента менее 80 % массы смешанного вяжущего.

Водопоглощение при капиллярном подсосе в течение 24 ч не должно превышать 0,4 кг/(м²·ч^{0,5}) (кроме гидроизоляционных смесей), для гидроизоляционных смесей – не более 0,2 кг/(м²·ч^{0,5}).

Для затвердевших растворов устанавливают следующие марки по морозостойкости: F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400.

Прочность сцепления затвердевших растворов с бетонным основанием (адгезия) должна быть установлена в нормативных или технических документах на сухие смеси конкретных видов и должна быть не ниже: 0,8 МПа – для ремонтных, 0,5 МПа – для клеевых; 0,4 МПа – для наружных выравнивающих, 0,25 МПа – для внутренних выравнивающих смесей.

Прочность сцепления (адгезия) затвердевших растворов с основанием из других материалов (кирпич, природный камень, плиты из минеральной ваты, керамическая плитка, пенополистирол и др.) устанавливают в нормативных или технических документах на сухие смеси конкретных видов в зависимости от области применения.

Затвердевшие растворы должны иметь следующие марки по морозостойкости контактной зоны: F_{кз}25, F_{кз}35, F_{кз}50, F_{кз}75, F_{кз}100. Морозостойкость контактной зоны F_{кз} определяют по изменению прочности сцепления (адгезии) затвердевших растворов с основанием после установленного для данной марки числа циклов переменного замораживания и оттаивания по режиму, приведенному в ГОСТ 10060.0.

Теплоизоляционные штукатурки (ТИШ) впервые появились 12–13 лет назад. Применение ТИШ позволяет не только уменьшить расход энергии на отопление, но и сократить использование основных строительных материалов: бетона, древесины и кирпича, что положительно влияет на снижение себестоимости строительства. При этом применение ТИШ возможно как в строительстве, так и реконструкции зданий гражданского и промышленного назначения. Немаловажно и то, что теплоизоляционные штукатурки можно использовать даже на фасадах тех зданий, которые представляют собой историческую ценность, и внешний облик которых по нормативам нельзя видоизменять.

В соответствии со сферой применения можно выделить два типа теплоизоляционных штукатурок:

– предназначенные для подготовительного слоя под финишные декоративные штукатурки. Такие теплые штукатурки используют как вспомогательное средство утепления. По теплопроводности они близки к теплым стеновым материалам, например к керамоблокам или газобетону, а также к теплым кладочным растворам;

– предназначенные для финишной отделки. Они отличаются особенно высокими теплоизоляционными свойствами и прочностью.

Теплые штукатурки разработаны с учетом самых современных требований к качеству строительства. У этих материалов много достоинств, которые делают процесс утепления быстрым, удобным, экономичным:

- теплые штукатурки отличаются высокими теплоизоляционными свойствами. 5 см такой штукатурки идентичны 2–4 см пенополистирола или кладке в 1,5–2 кирпича;

- теплая штукатурка в 3–4 раза легче традиционной: удельная масса после затвердения – 240...360 кг/м³;

- монолитность и однородность исключают мостики холода, расслоение и осыпание внешнего слоя. В случае механического повреждения штукатурный слой легко восстановить;

- высокая адгезия ко всем известным стеновым материалам позволяет наносить теплую штукатурку прямо на стену (грунтовка и использование сетки как исключение могут потребоваться при толщине слоя более 5 см). После затвердения теплые штукатурки монолитно соединяются с кирпичом, бетоном, натуральным камнем, гипсокартоном, а некоторые штукатурки – даже с керамической плиткой, стеклом и металлом;

- штукатурные работы выполняются быстро и не требуют специальной квалификации;

- большинство теплые штукатурки могут служить финишным слоем стены здания: они прочны, долговечны, не впитывают воду, но паропроницаемы, и их можно наносить на стены из любого материала. Красить ТШ можно любыми паропроницаемыми красками (все теплые штукатурки белого цвета, и покраска им рекомендована);

- как правило, теплые штукатурки экологичны. Их безопасно использовать и внутри помещения, а при работе с ними не требуются средства индивидуальной защиты. Однако не помешает, выбирая материал, ознакомиться с сертификатом, ведь встречаются разные рецептуры;

- теплые штукатурки с минеральным составом пожаробезопасны, негорючи и при пожаре даже защитят от разрушения конструкции и рабочую арматуру здания. Теплые штукатурки с органическими наполнителями относят к материалам, не поддерживающим горение.

Теплоизоляционная штукатурная сухая смесь включает в свою рецептуру следующие компоненты: портландцемент, глиноземистый цемент, гидратная известь, заполнители, наполнители, пористый заполнитель, воздухововлекающая добавка, воздухоудерживающая добавка, РПП, волокна, гидрофобизатор, ускорители схватывания [27, 29, 32, 41, 44, 93]. Каждый компонент выполняет определенную функцию в составе и влияет как на свойства растворной смеси, так и на характеристики затвердевшего раствора. ПЦ может применяться марок 400, 500; в некоторых базовых рецептурах применяется БТЦ СЕМ 142,5R. Содержание колеблется в широких пределах в зависимости от тех свойств раствора, которые необходимо получить. Глиноземистый цемент используется для ускорения твердения. Гидратная известь вводится в состав с целью увеличения пластичности и снижения трещинообразования, кроме того увеличивает водоудержание.

В качестве заполнителей может использоваться кварцевый или известняковый песок дисперсностью до 1,5 мм. В качестве тонкого наполнителя используется известняковая мука (< 0,1 мм), причем во многих рецептурах она является единственным наполнителем. В качестве пористого заполнителя используются перлит, вермикулит, керамзит, пенополистирол (перлит марки 100 с размером частиц до 1 мм, вермикулит – марки 150, размером частиц до 1...2 мм, полистирол – 1...2 мм, керамзит – до 3 мм) [7, 12, 39, 43, 87, 103]. Содержание запол-

нителя колеблется от 5 до 15 % в зависимости от величины коэффициента теплопроводности и плотности, которую необходимо получить.

Пенополистирол используется в качестве наполнителя при производстве штукатурок «Изолтэко» компании «Баутех», Isoputz Extra немецкой компании Knauf, а также австрийской штукатурки Tirotherm. В сухом виде ТИШ имеют плотность от 240–250 кг/куб. м до 350–400 кг/куб.м. Перлитовый песок – наиболее часто использующийся теплоизоляционный наполнитель. Его применяют при производстве штукатурок ThermoPutz (компания Baumit), «Мастер Старт» (Группа «Мастер»), гипсо-перлитовой штукатурной смеси «ПЕРЛИТКА ШТ2» и цементно-перлитовой смеси «ПЕРЛИТКА ШТ4». Материалы с перлитовым наполнителем отличают хорошие показатели теплопроводности и паропроницаемости. Например, коэффициент теплопроводности гипсовой штукатурки «ПЕРЛИТКА ШТ2» составляет 0,06 Вт/(м·К), а на цементной основе (белый цемент и портландцемент) – 0,07 Вт/(м·К), коэффициент паропроницаемости гипсовой – 0,52 мг/(м·ч·Па), цементной – 0,4 мг/(м·ч·Па). Показатели прочности («ПЕРЛИТКА ШТ2» и «ПЕРЛИТКА ШТ4»): адгезия – 0,3 МПа, прочность на сжатие – 1,2 МПа.

Примером использования вспученного вермикулита в качестве теплоизоляционного наполнителя является штукатурная смесь «Тепловер», которая разработана и изготавливается компанией «Укрвермикулит».

Еще одним вариантом наполнителя может быть вспученное стекло. Его в качестве теплоизоляционного материала предлагает немецкая компания Dennert. Фирма производит материал Rogaver, состоящий из гранул вспененного стекла диаметром от 0,5 до 1,6 мм. Материал обладает высокой прочностью, отличными теплоизолирующими свойствами, применяется при отделке фасадов зданий, в кровельных работах, в конструкциях, соприкасающихся с водой. Добавляя в смесь 20 % материала, можно получить штукатурку плотностью 800 кг/куб. м и теплопроводностью 0,2 Вт/(м·К), а при 75 % в смеси материала Rogaver – 250...280 кг/куб.м с теплопроводностью 0,07 Вт/(м·К). Используя Rogaver, компания «Экотермогруп» выпускает штукатурку «Умка», которую изготавливают на заводе «МЦ Баухеми». От типа заполнителя и его количества в смеси зависят теплоизоляционные свойства штукатурок. Так, содержание гранулированного полистирола в штукатурке «Изолтэко» составляет 75 %, соответственно ее теплопроводность – 0,051 Вт/(м·К). Коэффициент теплопроводности штукатурки Isoputz Extra, по данным компании «Кнауф Маркетинг», 0,09 Вт/(м·К). У шту-

катурок с перлитовым наполнителем теплоизоляционные качества несколько отличаются. К примеру, теплопроводность штукатурки Tirotherm равна 0,063 Вт/(м·К), «Ceresit СТ 24» – 0,2 Вт/(м·К), а ThermoPutz – 0,13 Вт/(м·К).

Совокупность некоторых требований к наполнителям заложена в ряде нормативных документов, прежде всего в российском ГОСТе 28013–89 «Растворы строительные. Общие технические условия», германском ДИН 18 557 «Растворы заводского изготовления». Наполнители должны содержать как можно меньше примесей, ухудшающих адгезию раствора, например, доля глины 1–1,5 % в песке может снизить адгезию плиточного клея в 2 раза. Влажность наполнителей должна быть не более 0,5 % (ГОСТ 28013–89 и новый СП 82-101–98 устанавливают показатель влажности с.с.с. на уровне 0,1 %).

При определении оптимального гранулометрического состава наполнителя исходят из того, что оптимальной является такая ситовая характеристика наполнителя, при которой обеспечивается плотная упаковка при сохранении паропроницаемости и доли различных фракций примерно равны. В этом случае достигаются максимальные механические показатели, например, усилие при отрыве при минимальном расходе химических добавок. Большинство растворов для тонкослойного нанесения содержит зерна крупностью до 0,6 мм. Более крупные размеры зерна применяются или при толстослойном нанесении, или для декоративных целей. Размер частиц до 0,1 мм характерен для таких гладких растворов, как шпаклевки и расшивочные массы.

ГОСТ 28013–89 «Растворы строительные. Общие технические условия» устанавливает предельные размеры зерен: в штукатурках 2,5 мм и в отделочных материалах 1,25 мм. Форма самого крупного зерна наполнителя важна для декоративно-отделочных материалов, как правило она круглая, его гидрофильность в случае применения таких смесей недопустима. Для цветных штукатурок ГОСТ 28013 допускает применение крошки размером до 5 мм.

Воздухововлекающая добавка – обязательный компонент любых штукатурных смесей – вводится для создания равномерной поровой структуры; используются: силипон RN6031, Hostapur OSB, Nansa 80S – в количестве 0,01–0,03.

Водоудерживающая добавка играет очень важную роль в теплоизоляционных составах. Ниже приведены сведения о наиболее применяющихся водоудерживающих добавок

Поливиниловый спирт ПВС (ГОСТ 10779–78). Применение поливинилового спирта обусловлено следующими его свойствами:

- плотность, г/см³ – 1,2...1,3;
- температура стеклования, °С – 65...85;
- температура плавления, °С – 228;
- температура деструкции, °С – 230;
- КЛТР при 0–50 °С, м/град. – $7 \cdot 10^{-5}$... $12 \cdot 10^{-5}$;
- относительное удлинение, % – 0...5;
- прочность при растяжении $R_{\text{разр}}$, МПа – 60–120 (ММ 80000–200000);
- хорошая газопроницаемость, светостойкость, исключительная устойчивость к органическим растворителям, маслам и жирам.

Метилцеллюлоза. Целлюлоза $\left[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3 \right]_n$ – высокомолекулярное соединение, представляет собой линейный гетероцепной стереорегулярный однородный полимер с большим числом ОН-групп. Этот тип химической связи между водородным атомом гидроксильной группы одной цепи и кислородным атомом ОН-группы соседней цепи придает повышенную жесткость полимеру. Кроме водородных связей, для целлюлозы характерно также межмолекулярное взаимодействие (силами Ван-дер-Ваальса). Поэтому введение небольшого количества модифицированной целлюлозы может существенно изменить систему и улучшить свойства строительных смесей и растворов.

Установлено, что при введении МЦ в диапазоне 0,1–0,3 % повышается первоначальная адгезия растворов, увеличивается предел прочности при сжатии и изгибе (растяжении), наблюдается водоудерживающий эффект, что очень важно при укладке раствора на пористое основание или в тонких швах. Введение МЦ различных модификаций и концентраций позволяет селективно подбирать рецепты строительных смесей с фиксирующими свойствами в зависимости от назначения.

Опыт применения метилцеллюлозы (МЦ) в производстве строительных материалов достаточно известен. Например, в качестве пластифицирующей добавки в производстве асбестоцементных изделий способом экструзии применяется метилцеллюлоза марки МЦ-100 (по ТУ 6-05-1857–78) или МЦС (метилцеллюлоза строительная) по ТУ 6-01-20-43–86.

Оксипропилметилцеллюлоза представляет собой эфир пропиленгликоля и метилцеллюлозы следующих марок: ОПМЦ-15, ОПМЦ-50А, ОПМЦ-50Б, ОПМЦ-100.

Na-карбоксилметилцеллюлоза представляет собой анионный Na-замещенный простой эфир целлюлозы и гликолевой кислоты. По внешнему виду представляет собой твердое волокнистое или порошкообразное вещество плотностью 1,59 г/см³.

Большой опыт применения МЦ в производстве сухих строительных смесей накоплен немецкими фирмами. В зависимости от назначения созданы различные серии продуктов WALOCEL метилцеллюлозы, производимой фирмой WOLFF WALSRODE:

- Walocel M (метил гидроксидэтиловая целлюлоза);
- Walocel C (натрий-карбоксидметиловая целлюлоза);
- Walocel S (гидроксидпропил крахмал).

Они изготавливаются путем реакции с эфиром на целлюлозе или крахмале, при этом нерастворимая в воде целлюлоза превращается в водорастворимый целлюлозоэфир.

Основным потребителем МЦ в производстве строительных растворов являются страны Западной Европы – 53 тыс. т в год. На долю России, стран СНГ и развивающихся стран приходится около 5 тыс. т в год, т.е. менее 10 %.

Одним из основных производителей МЦ является немецкая фирма Wolff Walsrode (Bayer). В зависимости от назначения выпускается целый ряд модификаций МЦ с различными свойствами. Основные свойства МЦ указываются в маркировке. Например, маркировка обозначает следующее:

Walocel MKX 25000 PP20

- Walocel** – название;
- М** – тип заменителя = метилцеллюлоза;
- К** – степень замещения, высокая степень этерификации;
- Х** – специальная этерификация, вызывает высокую вододерживающую способность;
- 2500** – вязкость в МПа с 2 % водного раствора, определяемая вискозиметром при 20 °С;
- PP** – дисперсность порошка, порошок мельчайший;
- 20** – модификация, чем больше число, тем сильнее загустения и выше требования к воде;
- Е** – повышает эластичность штукатурного раствора;
- L** – вызывает в клеях для плитки высокую фиксирующую способность при одновременном легком закреплении на основе.

G – гранулят;

P – порошок;

PF – порошок мелкий;

PP – порошок мельчайший;

O – также растворим в органических средах;

V – замедленное растворение.

Лабораторные или опытные продукты маркируются как **LP** или **VP**. ЗАО «ЕвроХим-1» предлагает потребителю сложные эфиры целлюлозы Mecellose^R производства Samsung Fine Chemicals (Республика Корея):

- метилгидроксипропилцеллюлоза (МГПЦ);
- метилгидроэтилцеллюлоза (МГЭЦ).

Классификация Mecellose^R представлена в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1 . 1

Классификация Mecellose^R

Химизм	МС ЕМ РМ FM	Метилцеллюлоза Метилгидроксиэтилцеллюлоза Метилгидроксипропилцеллюлоза Модифицированная Mecellose ^R
Степень замещения	А В С Н	Высокая степень замещения и этерификации Средняя степень замещения и этерификации Низкая степень замещения и этерификации Очень высокая степень замещения и этерификации
Вязкость (2 %-го раствора измеряется вискозиметром Брукфелда)	50L 10M 40H 15U	50·1 мПас 10·10 мПас 40·100 мПас 15·1000 мПас
Замедление набухания	– S	Без замедления С замедлением (с поверхностной обработкой)
Размер частиц	– F	90 % < 250 μm 80 % < 125 μm

Примеры

Mecellose^R ЕМВ 15 US: метилгидроксиэтилцеллюлоза

Степень вязкости 15000 мПас

Средняя степень этерификации

Порошок

С замедленным набуханием

Mecellose^R РМС 50 UF: метилгидроксипропилцеллюлоза

Степень вязкости 50000 мПас

Мельчайший порошок

Без замедления набухания

Mecellose^R FMC 2070: метилгидроксиэтилцеллюлоза

Со специальной модификацией, повышающей консистенцию

Степень вязкости 18000 мПас

Порошок

Свойства Mecellose^R приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Свойства Mecellose^R

Содержание активного вещества, % (сух.)	Min 90
Содержание влаги, %	Max 8
Содержание сульфатной золы, %	Max 2
Плотность, г/л	250–550
Температура разложения, °С	220

Добавка Mecellose легко растворяется в холодной воде, диспергируется в горячей, обладает свойством удерживать воду в растворе и противодействовать испарению, адсорбированию впитывающим основанием и т.д. Совместима с другими добавками в водном растворе и обеспечивает устойчивую комбинацию растворимости в воде. Устойчива в диапазоне рН 3,0–12,0. При повышении температуры водного раствора до определенного уровня раствор переходит в гелеобразное состояние, после охлаждения переходит в исходное состояние. Обеспечивает загущение раствора и улучшает его адгезионные свойства. Образует прозрачную, прочную, гибкую пленку, обладающую отличной стойкостью к маслам. Обеспечивает стабильность вязкости во времени во время длительного хранения.

При производстве сухих смесей используются типы Mecellose^R без замедления набухания, например, Mecellose^R РМС 50 UF, которые растворяются в воде мгновенно, или с небольшим замедлением набухания,

например, Mecellose^R PMC 50 US. Ниже приведены некоторые марки Mecellose^R для сухих строительных смесей (табл. 1.3).

Т а б л и ц а 1 . 3

Марки Mecellose^R

Mecellose ^R	Степень вязкости по Брукфилду, мПас	Модификация
FMC 60150	150	Специальная модификация
PMB 40 HS	4000	С замедлением набухания
EMB 80H	8000	–
PMC 15 US	15000	С замедлением набухания
FMC 2051	15000	Специальная модификация
FMC 2070	18000	Специальная модификация
FMC 22501	22000	Специальная модификация
FMC 7117	25000	Специальная модификация
FMC 22502	26000	Специальная модификация
EMB 30US	30000	С замедлением набухания
FMC 23010	35000	Специальная модификация
FMC 7150	35000	Специальная модификация
FMC 2074	38000	Специальная модификация
FMC 2094	40000	Специальная модификация
FMC 7113	50000	Специальная модификация
FMC 50UF	50000	–
PMC 50US	50000	С замедлением набухания

Для различных областей применения разработаны различные марки Mecellose^R. Ниже приведены данные, позволяющие выбрать марки Mecellose^R, наиболее подходящие для каждой области применения (табл. 1.4).

Т а б л и ц а 1 . 4

Область применения марок Mecellose^R

Область применения ССС	FMC 60150	PMC 15US	FMC 2070	FMC 2051	FMC 22501	FMC 22502	EMB30 US	FMC 2094	PMC 50UF	PMC 50US	FMC 7117	FMC 7150	FMC 2051
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Кладочный раствор		п	р	п		р		р	р				р
Клеевой раствор для пенобетона			р	р	п	п			п	п			р

Окончание табл. 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Плиточный клей		п	р	р	р	п	р	п	п			р
Плиточный клей для пола		р	п	п	п		п					п
Расшивка для швов		р	р									р
Клеевая шпатлевка для систем скрепленной теплоизоляции			р	р	п			п	п			р
Цементная шпатлевка		р	р	п				п	п			р
Шпатлевка полимерная (без цемента)		р	п	п		р		п	р			
Ремонтные и гидроизоляци- онные составы		п	р	р	п	р	п	п	р			п
Цементная стяжка для пола	п	п	п					п	п			п
Самовыравни- вающиеся составы	р											
Цементно- известковая штукатурка		п	р	р			р	р	п			р
Гипсовая штукатурка машинного нанесения							п	п		р	р	
Гипсовая штукатурка ручного нанесения								п		р	р	
Гипсовая штукатурка ручного нанесения										р	р	
Гипсовый клей и шпатлевка							п	р		р	р	
Порошковая краска		п	п			р			р			п

Примечание: п – пригодна; р – рекомендуется.

Компания Akzo Nobel поставляет на российский рынок эфиры целлюлозы Vermokoll. Это торговая марка неоиноенного водорастворимого эфира целлюлозы, выпускающегося с широким диапазоном значений вязкости. Особенностью добавки Vermokoll является ее способность к воздухововлечению при затворении сухой смеси водой, что незначительно сказывается на показателях прочности сцепления, но становится выгодно с экономической точки зрения, так как за счет повышенного воздухововлечения увеличивается удельная поверхность раствора, уменьшается плотность. Номенклатура ассортимента Vermokoll представлена этилгидроксиэтилцеллюлозой (Vermokoll E, Vermokoll EBS, Vermokoll CCA, Vermokoll EHM) и метилэтилгидроксиэтилцеллюлозой (Vermokoll M).

Компания Lamberti (Нидерланды) в качестве водоудерживающей добавки предлагает использовать неоиногенные простые эфиры гуаровой целлюлозы ESACOL в форме гидроксипропил-гуара. В использовании в сочетании с эфирами целлюлозы, ESACOL помогает избежать резкой потери влаги, вызванной действием адсорбента или ее испарением.

Для быстрого загущения растворной смеси в рецептуру вводят добавки, изготовленные на основе эфиров крахмала. Компанией «Единая торговая система» предложены добавки OPAGEL FP6, OPAGEL CMT, CASUCOL 301, SOLVITOSE H 2060, которые рекомендуется применять при изготовлении штукатурных сухих смесей.

Помимо улучшения технологичности растворной смеси и увеличения водоудерживания (особенно на легкопитающихся поверхностях), эфиры целлюлозы способствуют минимизации расслаивания растворной смеси. Это особенно важно с учетом того, что применяемые пористые заполнители имеют значительно более низкую плотность, чем другие компоненты смеси. Объем водоудерживающей добавки зависит от содержания легкого заполнителя (чем его больше, тем больший объем водоудерживающей добавки необходимо ввести).

Редиспергируемые порошки (РПП) присутствует во многих базовых рецептурах. Его вводят для улучшения адгезионных характеристик. Кроме того, применение гидрофобных РПП способствует повышению водоотталкивающих свойств.

Фирма «Еврохим-1» в качестве редиспергируемого порошка поставляет добавки производства Германии под торговой маркой Mowilith Pulver^R. Редиспергируемые порошки Mowilith Pulver^R производят методом распылительной сушки водных синтетических дис-

персий на базе сополимеров винилацетата, этилена, акрилатов и версататов. Растворы, штукатурки, клеевые и шпатлевочные массы на основе сухих смесей с содержанием редуспергируемых порошков отличаются высокой эластичностью, повышенной адгезией к различным поверхностям, высокой пластичностью.

Mowilith Pulver^R применяют в качестве самостоятельного вяжущего в порошковых красках, полимерных штукатурках, грунтовках и порошковых клеях для напольных покрытий, а также как добавку для цементных, известковых и гипсовых сухих смей. Свойства и области применения добавки в зависимости от марки приведены в табл. 1.5, 1.6, 1.7.

Компания «Единая Торговая Система» предлагает на рынке стран СНГ редуспергируемые порошки торговой марки Dairen производства компании Dairen Chemical Co (Тайвань). Редуспергируемые порошки представляют собой высококачественные винилацетатные гомополимеры (VA), винилацетатэтиленовые (VA-E), винилацетатверсатные (VA-VeoVa) сополимеры, винилацетатэтиленверсатные (VA-E-VeoVa) термополимеры.

Т а б л и ц а 1.5

Свойства и области применения добавок Mowilith Pulver^R

Обозначение	Свойства	Область применения
1	2	3
Mowilith Pulver ^R DM 200 P	Стоек к действию влажности	Универсальный
Mowilith Pulver ^R LDM 2021 P Mowilith Pulver ^R LDM 2028 P	Способствует растеканию, снижает усадку	Самовыравнивающиеся массы, порошковые дисперсионные краски
Mowilith Pulver ^R DM 2072 P	Гидрофобный, эластичный	Универсальный
Mowilith Pulver ^R LDM 2077 P	Эластичный, тиксотропный	Плиточный клей
Mowilith Pulver ^R LDM 2080 P	Гидрофобный	Водостойкие системы, смеси наружного применения, гидроизоляция
Mowilith Pulver ^R DM 117 P	Эластичный	Эластичные клеевые и шпатлевочные растворы на основе цемента

Окончание табл. 1.5

1	2	3
Mowilith Pulver ^R DM 1142 P	Быстро редуспер- гируется, высокая адгезия	Универсальный
Mowilith Pulver ^R LDM 1190 P	Увеличивается открытое время и эластичность	Универсальный
Mowilith Pulver ^R LDM 7974 P	Высокоэластичный при низких температурах	Высокоэластичные гибкие покрытия, гидроизоляция
Mowilith Pulver ^R LD 5500P	Образует жесткие пленки, растворим в щелочи	Нейтральные продукты на базе гипса, обойный клей

Таблица 1.6
Характеристика добавки Mowilith Pulver^R

Наименование показателей	Значение показателей
Содержание твердого остатка, %	99
Насыпная плотность, г/л	450
Содержание золы, %	9,5
Температура стеклования, °С	15
Минимальная температура пленко- образования, °С	0

Таблица 1.7
Область применения добавок Mowilith Pulver^R

Область применения	DM 200 P	DM 200 P	LDM 2021 P	LDM 2028 P	DM 2072 P	LDM 2077 P	LDM 2080 P	DM 1142 P	DM117 P	LDM 1190 P	LDM 7974 P	LD 5500 P
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Клеевой раствор для пенобетона	р		р	п		ор		п				
Плиточный клей	р		ор	ор	р	ор	р	ор	п			
Плиточный клей элас- тичный	п		ор	р	р	п	ор	р	ор			

Окончание табл. 1.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Плиточный клей для пола		ор	р	п		р	р		р	
Расшивка для швов	п		ор	р	ор	р	п	ор	р	
Клеевая шпатлевка для систем скрепленной теплоизоляции	р		р	п	р	ор	ор	п		
Шпатлевка цементная и полимерная	п	п	р	р		ор	р		п	
Ремонтные растворы	п		ор	р	р	р	ор	р	р	
Гидроизоляционные составы	п		р		р		ор		ор	
Самовыравнивающие составы		ор				р				
Цементно-известковые отделочные штукатурки	р		ор	ор	ор	р	р	ор		
Порошковая и минеральная краска	п	р	п			ор				
Сухие смеси на основе гипса	ор	п	р			ор				ор

Гомополимерные винилацетатные (VA) порошки. Компания Dairen производит две вида гомополимерных латексных порошков: Dairen DA 0050, Dairen DA 0040. Они находят применение либо в сухих системах на основе эфиров крахмала или КМЦ либо в жидких системах для увеличения содержания полимера в обойных клеях. Области применения VA-порошков следующая: самонивелирующие составы, фасадная штукатурка, шпатлевки, гидроизолирующие растворы и др.

Сополимерные винилацетатэтиленовые (VA-E) порошки. Наибольшее применение нашли следующие порошки:

– латексные, создающие жесткую пленку (Dairen DA1200, Dairen DA 1210, Dairen DA 1220);

– латексные порошки, создающие эластичную пленку (Dairen DA 1400, Dairen DA 1410, Dairen DA 1420);

– латексные порошки специального назначения (Dairen DA 1130, Dairen DA 1141, Dairen DA 3400).

Такие порошки находят применение в плиточных клеях, в растворах для самовыравнивающих полов, фасадных штукатурках.

Сополимерные винилацетатверсатиковые (VA-VeoVa) и термополимерные (VA-E-VeoVa) порошки. Эта группа представлена Dairen DA 2200 (VA-VeoVa) и Dairen DA 2310(VA-E-VeoVa). Такие порошки рекомендуется применять в затирках, где важна высокая пластичность и хорошая адгезия к гладкому основанию.

Акрилатные порошки Dairen представлены марками Dairen DA 5105, Dairen DA 5400, которые применяют в основном для модификации гидравлических вяжущих. Используется для снижения модуля упругости строительных растворов. Для смесей, предназначенных для гидроизоляции, рекомендуется редиспергируемый порошок ACRONAL S 430P.

Гидрофобизаторы вводятся в состав для повышения водоотталкивающих свойств. Это могут быть стеараты Ca, Zn, олеаты натрия, виннапасовский гидрофоб BS pulver A (на силиконовой основе).

Ускорители схватывания применяют в некоторых рецептурах для ускорения схватывания растворных смесей. Помимо ускорителей схватывания в некоторых рецептурах присутствует ускоритель твердения, как правило, это формиат Ca (0,1 %).

С целью снижения усадочных деформаций, повышения прочности при растяжении и изгибе, трещиностойкости покрытий в рецептуру сухих смесей вводят армирующие целлюлозные Technocel^R и полиакриловые Ricem^R волокна производства немецкой фирмы CFF. Характеристики целлюлозных волокон приведены в табл. 1.8.

Т а б л и ц а 1 . 8

Характеристика целлюлозных волокон Technocel^R

Наименование показателей	Значение показателей
Истинная плотность, г/л	1300
Насыпная плотность, г/л	200
Длина волокон, мкм	500
Диаметр волокна, мкм	25
Влажность, %	6
Растворимость	Нерастворимы в воде, слабых и разбавленных кислотах и щелочах
Термостойкость, °С	200
Морозостойкость	Вода, проникающая в капиллярную систему волокон целлюлозы, замерзает при -70 °С

С целью снижения вязкости составов на основе сухих смесей и повышения их пластических свойств в рецептуру вводят суперпластификаторы. Наибольшее распространение при производстве сухих смесей на основе отечественных материалов нашли добавки – суперпластификатор С-3, получаемый на основе продуктов поликонденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида. Выпускается Новомосковским заводом органического синтеза в соответствии с ТУ 6-36-020429-625. Дозировка добавки составляет 0,4–1,0 % от массы вяжущего.

Применяются также и пластифицирующие добавки на основе лигносульфонатов: лигносульфонат технический ЛСТ (ТУ 13-281036-05), лигносульфонат модифицированный ЛТМ (ТУ 480-2-4), ЛСТМ-2 (ТУ 13-0281036-16). Добавки представляют собой кальциевые соли лигносульфоновых кислот, содержащие активные функциональные группы разной полярности. Содержание добавки 0,1–0,3 % от массы цемента.

ЗАО «Еврохим-1» предлагает суперпластификаторы производства немецкой фирмы «SKW Polymers» для различных строительных систем MELMENT® и MELFLUX®.

MELMENT®F10 – универсальный суперпластификатор и разжижитель для СССР на основе цемента и гипса и других строительных материалов.

MELMENT®F15G – суперпластификатор и разжижитель для строительных материалов на основе гипса.

MELFLUX®1641F – высокоэффективный гиперпластификатор, разжижитель и противоусадочный компонент для ССС и других строительных материалов на основе портландцемента.

MELFLUX®2641F – высокоэффективный гиперпластификатор.

MELFLUX®2651F – разжижитель и противоусадочный компонент для ССС и других строительных материалов на основе портландцемента, обеспечивает высокую раннюю прочность.

MELFLUX®PP 100F – высокоэффективный гиперпластификатор разжижитель и противоусадочный компонент для ССС и других строительных материалов на основе портландцемента, обеспечивает высокую раннюю прочность.

MELFLUX®PP 200F – высокоэффективный гиперпластификатор, разжижитель и противоусадочный компонент для самовыравнивающихся наливных полов на основе ГЦ/ПЦ обеспечивает высокую раннюю прочность.

В табл. 1.9 приведены технические характеристики суперпластификаторов.

Таблица 1.9

Технические характеристики

Тип	MELMENT® F10	MELMENT® F15G	MELFLUX® 1641F	MELFLUX® 2641F MELFLUX® 2651F	MELFLUX® PP 100F	MELFLUX® PP 200F
	меламинформальдегид	поликарбонат				
Химическая основа	меламинформальдегид					
Метод получения	Распылительная сушка из раствора, полученного в результате поликонденсации					
Форма	порошок	порошок	порошок	порошок	порошок	порошок
Цвет	белый	белый	желтоватый	желтоватый	белый	желтоватый
Насыпная плотность, г/дм ³	450–750	550–850	400–600	300–600	300–500	300–500
Легучие (потери при нагревании), мас. %	максимум 4,0	максимум 4,0	максимум 2,0	максимум 2,0	максимум 2,0	максимум 2,0
РН 20 % раствора при 20 °С	9–11,4	7–10	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5
Рекомендуемая дозировка (мас. % на вес вяжущего)	0,2–1,5	0,2–2,0	0,05–1,5	0,05–1,5	0,05–0,5	0,05–0,3
Рекомендуемое вяжущее	цемент, гипс	гипс	ПЦ	ПЦ, ПЦ/ГЦ	ГЦ, ПЦ/ГЦ	ГЦ, ПЦ/ГЦ
Упаковка	мешки 25 кг	мешки 25 кг	мешки 15 кг	мешки 15 кг	мешки 15 кг	мешки 15 кг
Правила транспортировки	Не является опасным товаром, транспортируются в соответствии с действующими правилами					
Срок хранения, не менее	2 года	2 года	1 год	1 год	1 год	1 год

Для производителей сухих смесей фирма «Биотех-2М» (Россия г. Москва) разработала и выпускает несколько видов химических добавок: пластифицирующие добавки под торговым названием «ЛИГНО-ПАН-Б» и комплексная минерально-химическая добавка «Биотех-НМ» («Био-НМ»).

Многофункциональная химическая добавка – «Био-НМ» применяется для смесей с высокими требованиями по прочности, морозостойкости, и водонепроницаемости. Компания «Единая Торговая Система» предлагает производителям сухих смесей суперпластификаторы PERAMIN SMF, разработанные шведской фирмой Perstorp. По своему химическому составу пластификаторы PERAMIN SMF представляют собой порошок сульфат меламина. При введении в сухие растворные или бетонные смеси суперпластификаторов PERAMIN SMF 10 или PERAMIN SMF 30 (от 0,3 до 1 % от массы цемента) достигается пластифицирующий и редуцирующий эффекты. Применение суперпластификатора PERAMIN SMF 10 обуславливает высокую прочность на ранней стадии твердения, хорошую устойчивость к расслоению. Добавка PERAMIN SMF 30 используется в сухих смесях на основе гипса, обладает эффектом замедления схватывания.

Гиперпластификаторы PERAMIN–CONPAC 1495 принадлежат к новому поколению суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных полимеров. Применение таких пластификаторов в сухих строительных смесях позволяет улучшить строительно-технологические свойства выпускаемых составов и создавать самоуплотняющиеся и самонивелирующиеся растворные смеси.

Для контроля качества теплоизоляционных штукатурных смесей может учитываться следующий перечень показателей [23, 24]:

- внешний вид;
- насыпная плотность;
- содержание влаги (<2 %);
- остаток на ситах (по составу);
- количество воды для затворения;
- гидрофобность;
- водопоглощение массовое, %;
- паропроницаемость, не меньше 10–12 кг/(м·с);
- адгезия к подложке;
- прочность при сжатии;
- коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);
- содержание воздуха;
- морозостойкость.

С учетом требований DIN 18550 к специальным теплоизоляционным штукатуркам необходимы следующие условия:

- в зависимости от типа применяемого заполнителя или сочетания заполнителей теплоизоляционные штукатурки должны соответствовать группам объемной плотности 150–600 кг/куб.м;
- требования к водоотталкивающим штукатуркам должны предусматривать нужный коэффициент теплопроводности;
- применяемые растворы должны обеспечивать определенную прочность при сжатии (35, 40, 50 кг/см);
- в теплоизоляционных штукатурных системах соотношение прочности на сжатие верхних и нижних слоев определяется типом применяемого заполнителя.

Ниже приведены сведения о наиболее распространенных на рынке теплоизоляционных сухих строительных смесях.

Штукатурка «ТЕПЛОВЕР»^{ТМ} – готовая к применению модифицированная сухая смесь на основе цементно-известкового вяжущего и природных теплоизоляционных заполнителей – вспученного вермикулита и перлита. Штукатурка применяется для наружного и внутреннего утепления стен или выравнивания с эффектом утепления и звукопоглощения. Раствор наносится на стены из кирпича, бетона, блоков и других видов материалов. После высыхания поверхность защищается декоративным слоем, керамической плиткой либо обрабатывается краской, в т.ч. и фасадной. Технические характеристики штукатурки приведены в табл. 1.10.

Т а б л и ц а 1 . 1 0

Технические данные

Наименование показателей	Нормируемые значения
1	2
Плотность сухой штукатурки	330–360 кг/м ³
Температура применения	Выше +5 °С
Время использования	2 часа
Предел прочности при сжатии	Не менее 0,45 МПа
Коэффициент теплопроводности	0,085–0,09 Вт/(м·К)
Расход смеси	9,0 кг/м ² – при толщине слоя 25 мм

1	2
Упаковка	Мешки по 9 кг
Толщина теплоизоляционного слоя	До 100 мм
Адгезия	Не менее 0,5 МПа
Коэффициент паропроницаемости	Не менее 0,15 мг/(м·час·Па)

Штукатурная смесь ThermoSan – готовая сухая строительная смесь, при смешивании с водой образует очень пластичный раствор, который является не только прекрасным гидроизолятором, но одновременно служит как теплоизолирующая штукатурка. Применяется для наружной и внутренней отделке. Использование штукатурки ThermoSan обеспечивает значительную экономию тепла.

На рынке хорошо зарекомендовала теплоизоляционная штукатурная смесь «WarmMix». Теплоизоляционная штукатурная смесь «WarmMix» (ВармМикс) – это готовая к применению сухая смесь, которая после перемешивания с водой образует пластичный раствор, обладающий высокой адгезией.

Сухие строительные смеси «ВЕРМИИЗОЛ»™ являются модифицированными смесями на основе цемента и природного безопасного для здоровья человека теплоизоляционного наполнителя – вермикулита.

Звуко- и теплоизоляционная легкая штукатурка IVSIL TERMOSIL – сухая штукатурная смесь на основе цемента, комплекса полимерных добавок и прочного долговечного пористого наполнителя – пеностекла penostek. Сверхлегкая теплоизолирующая штукатурка IVSIL TERMOSIL предназначена для выравнивания, звукоизоляции и утепления стен домов и других сооружений, утепления коммуникаций различного назначения.

Сравнительно недавно на российском рынке появился Rhodipor (Германия) – новый материал для утепления фасадов зданий. В качестве заполнителя в рецептуре применяют расширенные гранулы пенополистирола.

Теплоизоляционная штукатурка SAY ThermoPlast представляет собой сухую строительную смесь, которая в основе своей состоит из пеностекла – наполнителя, природных вяжущих составляющих (98 %), и чистого синтетического клея (2 %).

Теплоизоляционная штукатурка «УМКА®» представляет собой смесь цемента, извести, минеральных заполнителей, полимерных добавок. Технические свойств ССС приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Технические характеристики

Наименование показателей	Нормируемые значения
Внешний вид	Порошок белого цвета
Плотность раствора в сухом состоянии	320 кг/м ³ ± 5 %
Предел прочности на сжатие	0,64 МПа
Прочность сцепления с бетонным основанием	0,6 МПа
Звукоизоляция при толщине слоя 2 см	43 дБ
Коэффициент теплопроводности: через 28 дней через 120 дней	0,065 Вт/(м·К) 0,050 Вт/(м·К)
Морозостойкость	Не менее 35 циклов
Паропроницаемость	0,67 мг/(м·ч·Па)
Пожаробезопасность	НГ
Влагоудерживающая способность раствора	99,5 %
Уровень поглощения воды за 24 часа не более	0,059 кг/м ²
Расход сухой смеси при толщине слоя 1 см	~ 3,5–4 кг/м ²
Расход воды для приготовления растворной смеси	(0,45–0,48 л/кг) 3,15–3,36 л на мешок 7 кг
Время пригодности раствора для использования	Не менее 2 часов

Завод «Победит» выпускает теплую штукатурку «Победит перлит ТМ-30». Теплая штукатурка «ПОБЕДИТ ПЕРЛИТ ТМ-30» представляет собой многокомпонентную сухую смесь на основе цементного вяжущего, фракционированного кварцевого песка, перлитового песка, извести и комплекса модифицирующих добавок. Состав используют для оштукатуривания поверхностей из бетона, кирпича, блоков из пено-, керамзито- и полистиролбетонов снаружи и внутри помещений. Состав является аналогом других теплоизоляционных штукатурок на основе перлитового песка, но данная растворная смесь обладает более высокой пластичностью.

Безусадочность раствора обеспечивает ему высокую трещиностойкость, что позволяет наносить состав более толстым слоем, чем позволяют аналоги.

Кроме того, предприятие выпускает облегченную теплоизоляционную штукатурку «ПОБЕДИТ ПЕНОСТЕКЛО ТМ-30», которая представляет собой многокомпонентную сухую смесь на основе цементного вяжущего, фракционированного кварцевого песка, гранулированного пеностекла, извести и комплекса модифицирующих добавок. Состав используют для оштукатуривания поверхностей из бетона, кирпича, блоков из пено-, керамзито- и полистиролбетонов снаружи и внутри помещений.

Смесь обладает высокой пластичностью. Покрытия на основе предлагаемого состава обладают более низкой теплопроводностью, чем на основе смеси «ПОБЕДИТ ПЕРЛИТ ТМ-30».

В патенте № 2134666 РФ «Изоляционно-декоративная штукатурная смесь» описан состав изоляционно-декоративная штукатурная смесь, содержащей белый цемент, пористый материал – перлит, вермикулит, пемза, микросферы (отход ГРЭС), бисер полистирольный, пигмент, акриловую дисперсию, базальтовое волокно. Применение изоляционно-декоративной штукатурной смеси способствует снижению теплопроводности конструкции, при этом обеспечивается также декоративно-художественная выразительность поверхности, на которую наносят штукатурную смесь. По показателю термического сопротивления изоляционно-декоративная штукатурная смесь предложенного состава толщиной 40–50 мм эквивалентна термосопротивлению стены из одного кирпича (250 мм), при этом она одновременно служит декоративной отделкой.

В табл. 1.12 представлены примеры составов изоляционно-декоративной штукатурной смеси.

Т а б л и ц а 1 . 1 2

Свойства изоляционно-декоративной штукатурной смеси

№ п/п	Состав смеси	Соотношение компонентов	Прочность при изгибе, МПа	Коэффициент теплопроводности
1	2	3	4	5
1	Перлит Белый цемент Акриловая дисперсия Базальтовое волокно Пигмент Вода	50 10 15 8 8 9	1,65	0,064

Окончание табл. 1.12

1	2	3	4	5
2	Вермикулит белый механоактивированный	42	1,7	0,063
	Белый цемент	23		
	Акриловая дисперсия	3		
	Базальтовое волокно	5		
	Пигмент	7		
	Вода	20		
3	Пемза	40	1,57	0,072
	Белый цемент	30		
	Акриловая дисперсия	10		
	Базальтовое волокно	5		
	Пигмент	5		
	Вода	10		
4	Микросферы (отход ГРЭС)	40	1,6	0,07
	Белый цемент	25		
	Акриловая дисперсия	12		
	Базальтовое волокно	6		
	Пигмент	5		
	Вода	12		
5	Бисер полистирольный	46	1,58	0,07
	Белый цемент	20		
	Акриловая дисперсия	15		
	Базальтовое волокно	4		
	Пигмент	6		
	Вода	9		

В патенте № 2283819 РФ «Строительный раствор» описан способ получения строительного раствора, предназначенного для штукатурных работ. Строительный раствор содержит в качестве пенообразователя смолосапониновую пенообразующую добавку. Ниже приведены основные свойства штукатурного раствора и покрытий на его основе: плотность – 1500 кг/м³. Прочность при сжатии 9,2...9,5 МПа, расслаиваемость 2,4...2,7 %, водоудерживающая способность – 97,5...98,1 %, коэффициент теплопроводности 0,31...0,33 Вт/(м·°С).

В табл. 1.13 приведены сравнительные технико-экономические показатели теплых штукатурок, которые востребованы на рынке.

Т а б л и ц а 1 . 1 3

Технико-экономические показатели теплых штукатурок

Название материала	«Термовер»	«Умка»	Ceresit СТ 24	Isoputz Extra
Производ.	«Термопласт»	«Экотермо-групп»	«Хенкель Баутехник»	«Кнауф»
Основной наполнитель	Гранулированный пено-стеколь. шарик	Гранул. пено-стеколь. шарик	Гранул. пенополи-лист.	Гранул. пенополи-лист.
Сфера применения	Наружное финишное и внутреннее утепл. стен	Наружное финишное и внутреннее утепл. стен	Наружные и внутренние работы по подготовке основания для декор.слоев	Наружные работы, подгот. основания для декор. штукатурок
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² ·С)	0,050	0,065	Не более 0,2	0,09
Сила сцепления (адгезия), МПа	0,51	0,60	Не менее 0,35	0,36
Водопоглощение, %	Менее 3	3	–	–
Морозостойкость, циклов	40	Не менее 35	Не менее 50	–
Класс огнестойкости	НГ	НГ	В1	В1

Потребительские показатели качества теплоизоляционных штукатурок

Объемный вес после высыхания, кг/ м ³	311	320–350	1000	500
Готовность к покраске, ч	48	40	–	–
Расход, кг/м ² при толщине слоя 2–2,5 см	7	7-8	25	25
Объем упаковки, кг	7	7	25	30

1.2. Применение диатомита в сухих строительных смесях

Следует отметить, что в структуре цены ССС себестоимость сырья составляет от 30–40 % (рис. 1.1.)

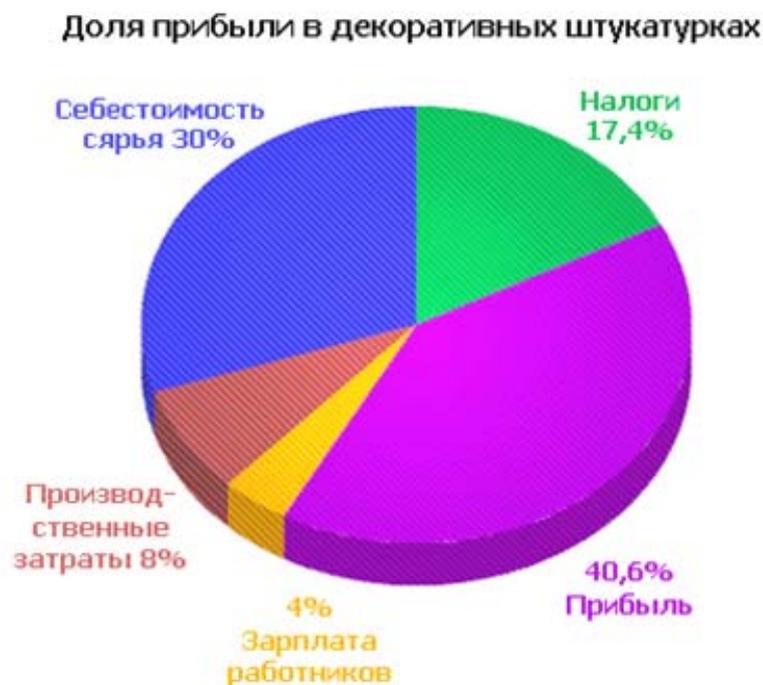


Рис. 1.1. Структура цены декоративных штукатурок на основе ССС

В связи с этим актуальным является применение местных материалов. В России, в том числе и на территории Поволжья, имеются значительные запасы диатомита, который может быть применен при изготовлении ССС [31].

Диатомит представляет собой пористую кремнистую породу, состоящую из скелетов диатомей размером до 0,5 мм, с диапазоном диаметра пор 10–35 нм. Диатомовые скелеты состоят из рентгеноаморфного опала, обладающего изотропностью и интенсивной микротрещиноватостью, свидетельствующей о его коллоидной природе. Эти свойства диатомитов широко используют при производстве товарного бетона, строительных растворов и сухих строительных смесей различного назначения [4, 16, 17, 51, 56–59].

Россия обладает крупной сырьевой базой диатомитов (разведанные запасы их оцениваются объемами до 1 млрд тонн или порядка 20 % мировых запасов), но отстает от других стран, активно добывающих и перерабатывающих диатомит: добыча и переработка диатомита в США в 2004 году составила 635 тыс. т (32 % мировой добычи), в Китае

370 тыс. т (19 %), в странах Европы 378 тыс. т (19 %), в России 70 тыс. т (4 %). При этом 20 % американской продукции из диатомита поставляется на экспорт, в России эта величина составляет менее 10 %.

По данным компании «B2B international» мировое производство продукции из диатомита (без учета России) в среднем составляет около 2 млн тонн в год. Ведущими производителями СФМ из диатомита являются США, Китай, Дания, Франция, Испания. Доля России в мировом производстве продукции из диатомита составляет менее 2 %.

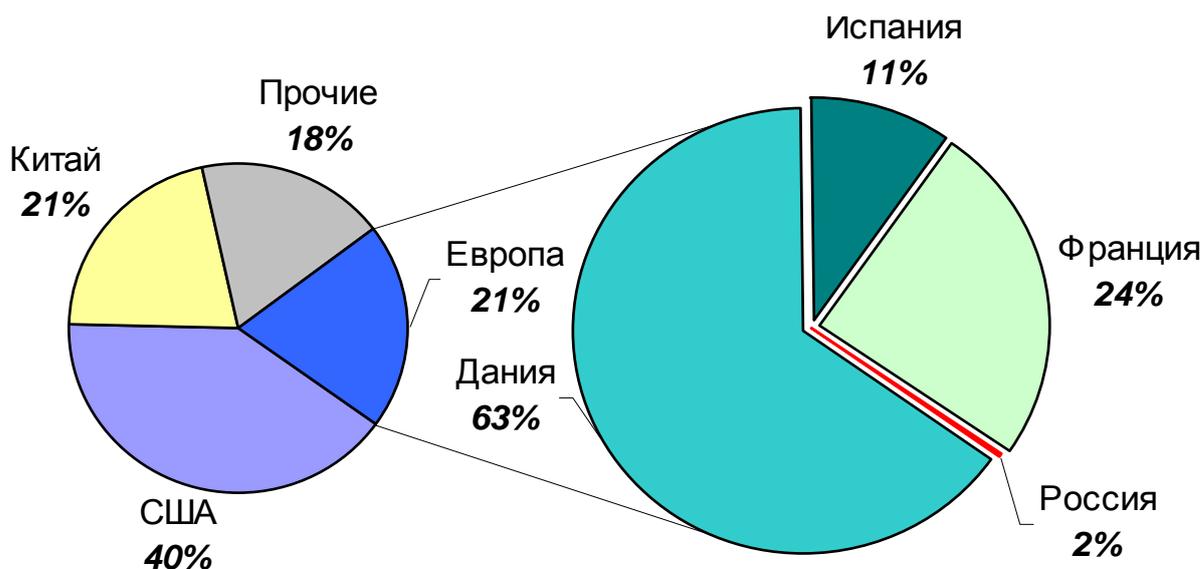


Рис. 1.2. Общее мировое производство материалов из диатомита
Источник: B2B international

На сегодняшний день Россия располагает значительными запасами общераспространенных полезных ископаемых: диатомит, опока, трепел, цеолит, мел и пр. В частности, по запасам диатомита Россия находится на втором месте в мире (табл. 1.14).

Таблица 1.14

Мировые запасы диатомита

Страна	Разведанные запасы диатомита, тыс. т
США	250 000
Российская Федерация	113 000
Китай	110 000
Дания	85 000
Прочие страны	230 000
Всего:	788 000

Источник: исследования Геологического агентства США (USGS).

Крупнейшие месторождения диатомита в РФ представлены в табл. 1.15.

Таблица 1.15
Месторождения диатомита в России

Наименование месторождения	Разведанные запасы, тыс. т
Потанинское (Челябинская обл.)	24 136
Инзенское (Ульяновская обл.)	16 371
Решеткинское (Ульяновская обл.)	14 522
Камышловское (Свердловская обл.)	13 255
Шарловское (Ульяновская обл.)	11 071
Забалуйка (Ульяновская обл.)	9 859
Атемарское (Мордовское)	6 864
Ирбитское (Свердловская обл.)	6 704
Сенгилеевское (Ульяновская обл.)	3 579
Барышское (Ульяновская обл.)	1 853
Китайское (Курганская обл.)	1 477
Пионерское (Приморский край)	732
Озеро Веске-Ламбин (Мурманская обл.)	643
Озеро Щучье (Мурманская обл.)	628
Озеро Травяное (Мурманская обл.)	444
Нарвское (Ленинградская обл.)	239
Озеро Окуневское (Мурманская обл.)	213
Черноярское (Хабаровский край)	172
Ахматовское (Пензенская обл.)	1600
Коржевское (Пензенская обл.)	252
Общие разведанные запасы	112 762

При этом по уровню производства продукции на основе диатомита Россия значительно уступает всем ведущим странам с сопоставимыми запасами данного сырья. Обладая значительными запасами, доля России в мировом производстве продукции из диатомита составляет менее 1% (к примеру, данное соотношение по США и Китаю: 32%/35% и 13%/27% соответственно). Примечательно положение в рейтинге таких стран как Дания и Япония – обладая меньшими запасами, чем Россия, эти страны производят больше продукции из диатомита.

Такое положение привело к тому, что российская экономика, располагая достаточными ресурсами, ежегодно теряет потенциально возможный ВВП, импортируя данную продукцию на суммы свыше 250 млн долл.

Ценнейшим качеством диатомита как сырья является то, что его химический состав позволяет производить на его основе различные высококачественные материалы для многих отраслей народного хозяйства (рис. 1.3).

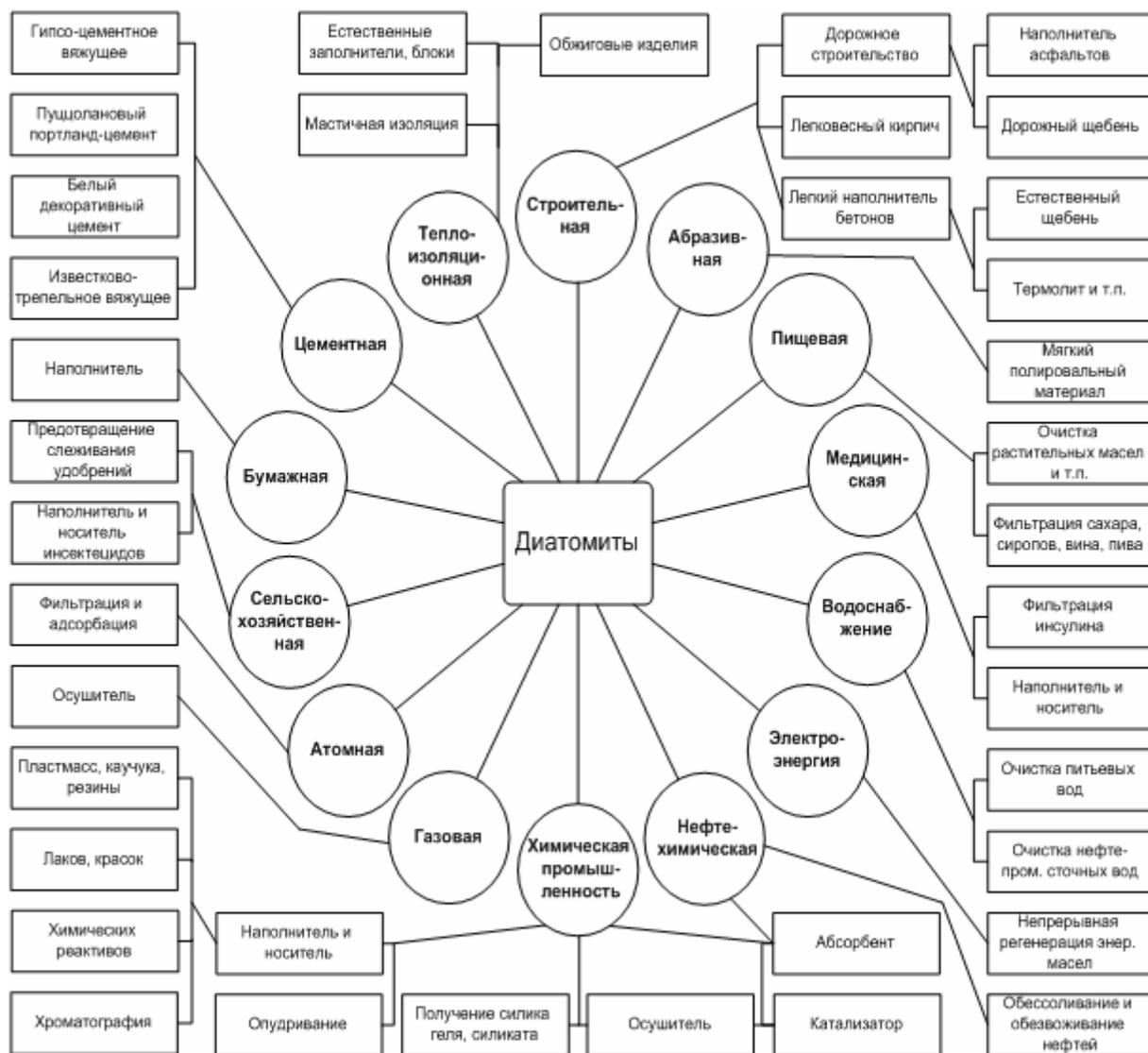


Рис. 1.3. Сферы применения диатомита

Развитые экономики уже издавна используют диатомит в самых различных отраслях. В табл. 1.16 представлена структура производства продукции из диатомита в США. В России же до недавнего времени из диатомита в основном производилась лишь высокотемпературная

теплоизоляция для предприятий цветной металлургии и энергетики [4, 12, 39, 56, 58, 59, 82].

Таблица 1.16
Структура производства продукции из диатомита в США, %

Вид продукции	2008	2009
Абсорбенты	7	9
Заполнители для цемента	26	33
Различные наполнители	9	8
Фильтрующие материалы	51	48
Изоляционные материалы	2	2
Прочие	5	0,5

Источник: исследования Геологического агентства США (USGS).

Анализ научно-технической литературы свидетельствует, что в последнее время вырос интерес к использованию диатомита как сырью для производства теплоизоляционных строительных материалов, наполнителей для сухих строительных смесей, адсорбентов, фильтров и т.д. Был проведен патентный поиск о применении диатомита как сырья для производства теплоизоляционных материалов. Для систематизации информации о проведенном патентном поиске был составлен динамический ряд патентования в данной области техники (рис. 1.4) [64, 65–76].

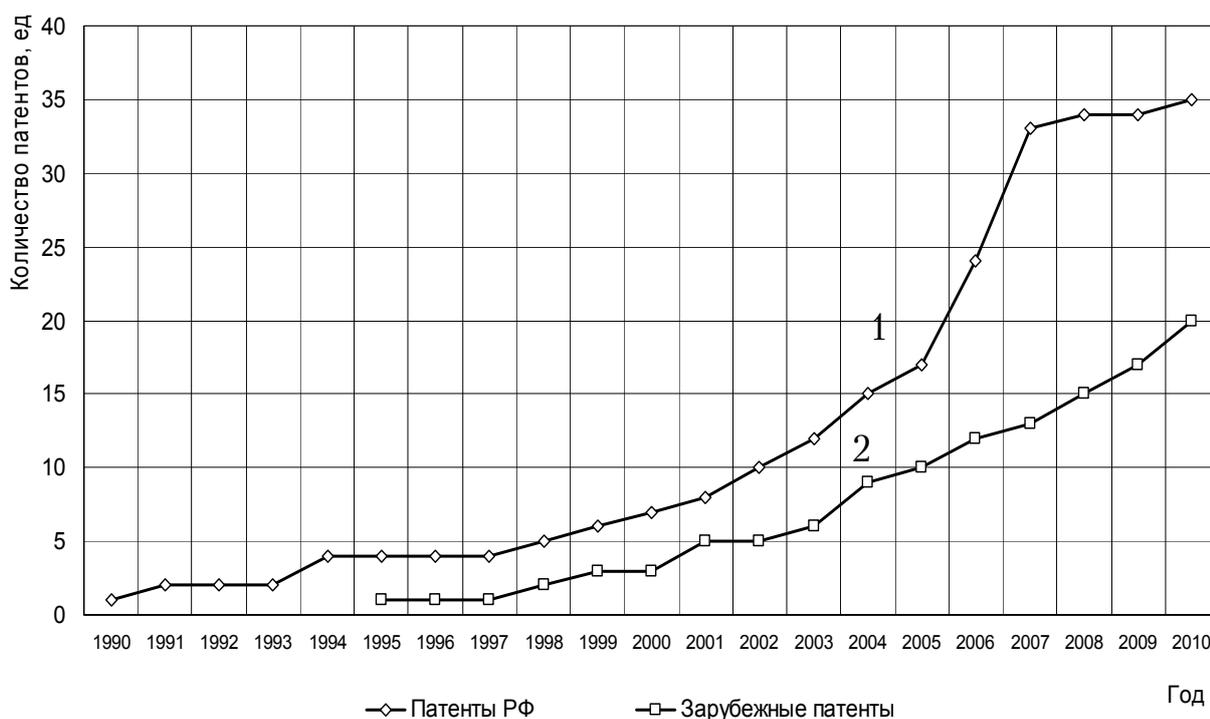


Рис. 1.4. Кумулятивный динамический ряд патентования

Кривая (1) на рис. 1.4 характеризует тенденцию интенсивного развития исследуемого объекта в РФ. Восходящий характер кривой (2) также свидетельствует о наличии интереса к данной проблематике в зарубежных странах. При этом следует отметить, что требования исследуемого объекта в различных странах сильно отличаются, что очевидно определяется особенностями национального менталитета и уровнем развития технологий

В настоящее время происходит некоторое снижение темпов патентования. Большинство заявленных ранее изобретений поддерживаются в силе. Наибольшее количество заявок на изобретения подано в России, ЕС, США, Китае, Корее и Японии.

Наиболее выраженная изобретательская активность приходится на заявителей из России, ЕС, США. Ведущими компаниями в данной области являются «Pittsburgh Corning Europe» (среди зарубежных) и ОАО «Гомельстекло» (среди стран СНГ). По количеству подаваемых заявок и поддерживаемых в силе патентов среди отечественных фирм-патентообладателей выделяются ООО «Пеноситал» (г. Пермь) и ООО ПИК «Диатомит-Инвест» (г. Инза, Ульяновской обл.) [64, 66, 68, 71, 76].

В последние годы активизировалась изобретательская деятельность в Китае и Южной Корее. При этом для патентов, подаваемых в Корее и Японии, характерен упор на создание диатомитовых материалов с новыми потребительскими качествами, обеспечивающими строительство экологически чистых, комфортных и «здоровых» зданий.

В патенте РФ 2326085 Н.Г. Чумаченко, Е.В. Мироненко для снижения высолообразования в кладочных растворах на основе портландцемента предлагается применение диатомита, термически обработанного при температуре 200 °С [72].

Селяевым В. П. и другими соавторами предлагается состав ССС, используемых для кладки блоков из ячеистых бетонов и содержащий предварительно измельченный и высушенный до постоянной массы диатомит [70].

В патенте РФ 2394006 «Состав теплоизоляционной штукатурной смеси для внешних и внутренних работ» для обеспечения влаго-, тепло- и звукоизоляции и огнестойкости предлагается добавлять перлит и диатомит [73].

При взаимодействии диатомита с минеральными вяжущими (цемент, известь) активность минеральных добавок, каковой является диатомит, обусловлена высоким содержанием в них водного кремнезёма и значительно возрастает с повышением тонкости их помола. По

мнению ряда исследователей, частицы водного кремнезёма, содержащиеся в структуре группы Si–ОН, взаимодействуют с Ca(OH)₂ с образованием соединения CSH(B), близкого по химическому составу к (0,8–1) CaO·SiO₂·H₂O [50, 80].

Одновременно за счёт разрыва связей –SiO–SiO– в тетраэдрах кремнезёма вследствие гидролиза образуются новые группы –Si–O...H, которые обеспечивают дальнейшее течение указанной реакции. Гидролизу способствует повышенная концентрация гидроксильных ионов (рН=12...12,5) в результате растворения гидрата окиси кальция в воде. Гидросиликаты кальция образуются в виде гелевидных продуктов с размером первичных полукристаллических частиц 100–250 Å. Новобразования обычно имеют вид тонких волокон, пластинок и лепестков неправильной формы.

В работе [50, 80] для повышения эффективности применения диатомита в сухих строительных смесях предлагается проводить его активацию термообработкой при температуре 800–900 °С. Известно, что поверхность дисперсных материалов отличается от объема повышенным энергетическим потенциалом, наличием избыточной поверхностной энергии, и многие процессы протекают самопроизвольно именно на ее активных центрах. Поэтому активные центры поверхности заполнителей и наполнителей в первую очередь будут обуславливать их реакционную способность и влияние на процессы взаимодействия в системе «вяжущее-наполнитель». В работе [50] Исследования активных центров поверхности диатомита проводили индикаторным методом распределения центров адсорбции (РЦА). Исследования производились в области бренстедовских кислотных (рКа от 0 до 7) и основных (рКа от 7 до 13) центров и льюисовских кислотных (рКа >13) центров. Количественное определение центров адсорбции (q_{pKa}^x , мг-экв/г или мг-экв/м²) данной кислотной силы проводили методом.

На рис. 1.5 представлены кривые распределения центров адсорбции (РЦА) на поверхности диатомита в естественном состоянии и диатомита, подвергнутого термической обработке при температуре $t = 700$ °С, построенные в координатах $q_{\text{pKa}} = F(\text{pKa})$, где q_{pKa} – содержание активных центров, эквивалентное количеству адсорбированного индикатора определенной кислотной силы – рКа. (по данным И.С. Великановой).

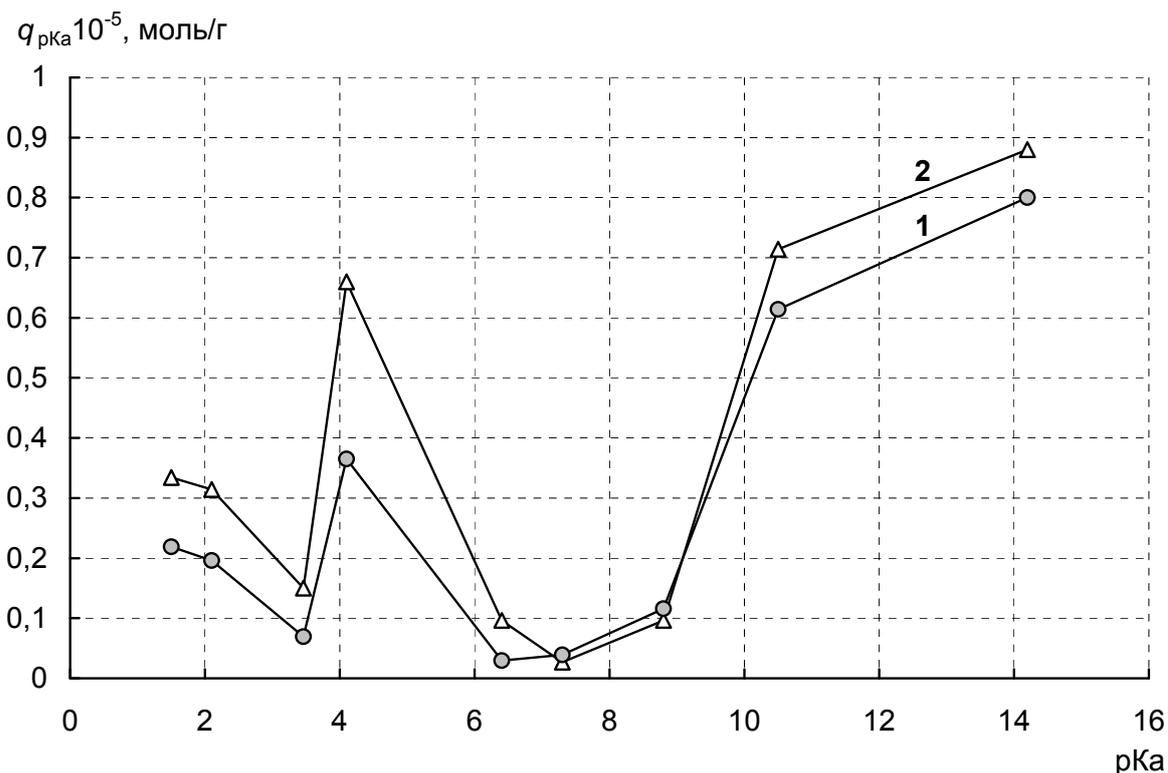


Рис. 1.5. Распределение кислотно-основных центров на поверхности диатомита:

- 1 – необожженный диатомит;
 2 – диатомит, подвергнутый термической обработке при $t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$

Результаты исследований свидетельствуют о значительном различии в активности поверхности обожженного и необожженного диатомита, причем отличается не только количество центров адсорбции различных типов, но и суммарное содержание центров адсорбции. Воздействие температурного фактора привело к изменению энергетического состояния поверхности материала, проявившееся в изменении распределения центров адсорбции, выраженное в сдвиге спектра РЦА. Сравнение распределения адсорбционных центров на поверхности исследуемых материалов, имеющих практически одинаковый химический, минералогический и гранулометрический составы, свидетельствует о том, что число бренстедовских кислотных центров на поверхности термически обработанного диатомита превышает число таких же центров на поверхности необожженного диатомита. Так, количество активных центров при рКа от 0 до 7 на поверхности обожженного диатомита составило $1,215 \cdot 10^{-5}$ моль/г, в то время как на поверхности необожженного диатомита – $0,975 \cdot 10^{-5}$ моль/г. В области основных бренстедовских центров (рКа от 7 до 13) наблюдалось некоторое снижение числа активных центров на поверхности термически обработанного диатомита.

В табл. 1.17 приведены значения прочности при сжатии известкового композита в зависимости от температуры термообработки диатомита.

Анализ данных, представленных в табл. 1.17, свидетельствует, что термообработка диатомита при невысоких температурах (200 °С и 300 °С) не вызывает существенного влияния на значение прочности при сжатии составов. Увеличение температуры до 700 °С приводит к существенному повышению прочности до $R_{сж} = 4,38$ МПа. Однако наибольший эффект достигается при термообработке диатомита при температуре 900 °С, значение прочности при сжатии составляет $R_{сж} = 5,1$ МПа. При температуре обжига 700–900 °С диатомит приобретает ярко оранжевый оттенок, что позволяет разнообразить цветовую гамму отделочного слоя без введения пигментов. Однако с точки зрения энергозатрат более целесообразно термообработка диатомита при температуре 700 °С.

Т а б л и ц а 1 . 1 7

Прочность при сжатии известкового композита
в зависимости от температуры термообработки диатомита

Температура обработки, °С	Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа
20	0,9
200	0,94
300	0,98
700	4,38
900	5,1

П р и м е ч а н и е . Соотношение известь : диатомит = 1:3.

Однако описанный выше способ активации диатомита предусматривает повышенные энергозатраты.

Известно, что активность диатомита обусловлена содержанием в диатомитах веществ в химически активной форме, поэтому характер и интенсивность взаимодействия со средой различны в зависимости от количества аморфного SiO₂, содержание которого в диатомитах может колебаться от 40 % до 100 % к общему количеству SiO₂. Помимо кремнезема в состав диатомита входят кристаллы солей Ca, Na, Fe, Al, органические вещества (до 9 %). Увеличения активности диатомита можно достичь, производя специальную его активацию, заключающуюся в увеличении содержания аморфного кремнезема. В связи с этим представляет интерес применение при обработке диатомита нанодисперсной кремнеземсодержащей добавки.

2. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАТОМИТА В СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ

2.1. Физико-химические основы активации диатомита

Диатомит – природный наноструктурированный материал, представляющий собой кремнистую породу, сложенную мельчайшими опаловыми створками древних диатомовых водорослей – диатомей двух видов: неправильной формы и ячеистой структуры, размер которых не превышает 5 мкм, причём в последних различная контрастность определяется разницей химического состава отдельных зерен (рис. 2.1). Размер створок диатомей колеблется в пределах от 0,005 до 0,2 мм. Сами створки – структуры фрактального характера с размером отдельных частей порядка 100 нм [17, 51, 56, 57, 100].

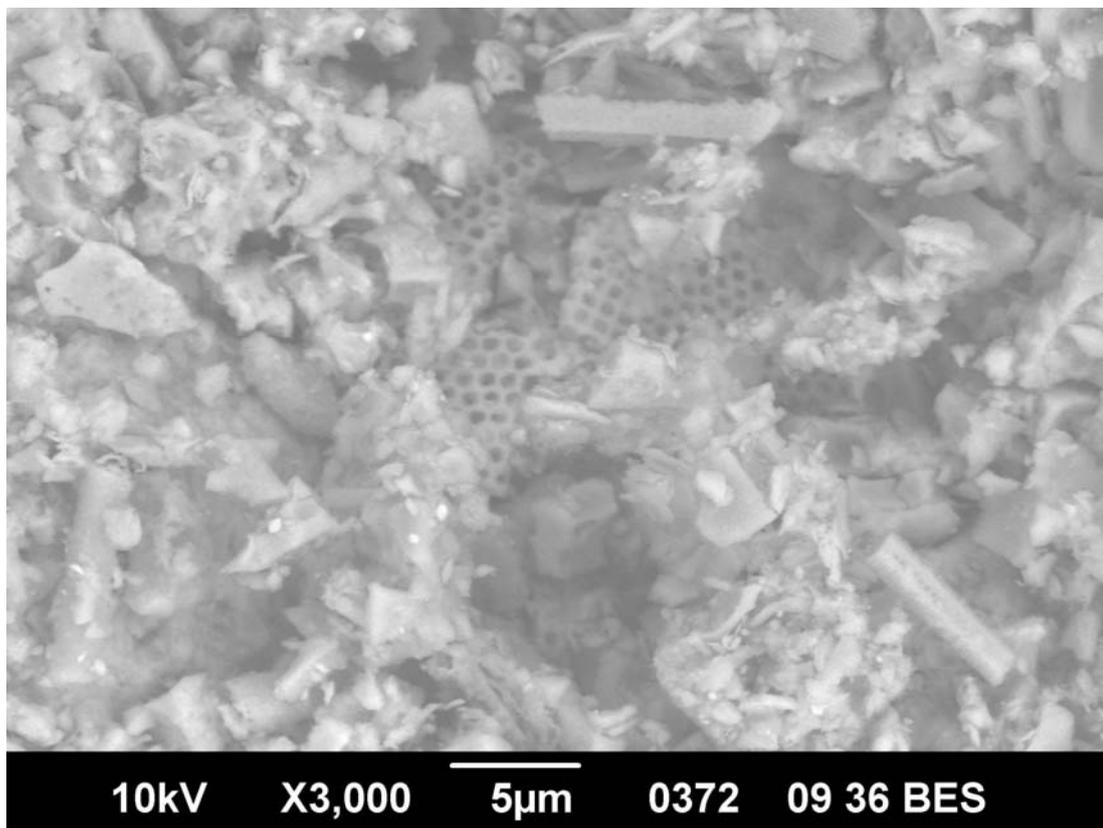


Рис. 2.1. Структура диатомита x 3000

Диатомовые скелеты состоят из рентгеноаморфного опала, обладающего изотропностью и интенсивной микротрещиноватостью, свидетельствующей о его коллоидной природе. Эти свойства диатомитов широко используют при производстве товарного бетона, строительных растворов и сухих строительных смесей различного назначения. Поми-

мо кремнезема в состав диатомита входят кристаллы солей Ca, Na, Fe, Al, органические вещества (до 9 %). Кремнеземистая составляющая диатомита представлена аморфной фазой с присутствием кристаллической фазы в виде β -кварца [4, 16, 17, 54, 56, 58, 60].

Химический состав диатомита различных месторождений Поволжья, выполненный на спектрометре фирмы «ThermoScientific», представлен в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2 . 1

Химический состав диатомита (%)

Месторождение	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	п.п.п.
Инза	83,4	2,53	1,5	1,88	0,89	9,4
Ахматовский	82,4	2,7	1,8	1,88	0,91	9,1
Коржевский	81,9	2,93	1,9	1,98	0,88	9,7

Активность минеральных добавок, каковой является диатомит, обусловлена высоким содержанием в них водного кремнезёма и значительно возрастает с повышением тонкости их помола. По мнению ряда исследователей, частицы водного кремнезёма, содержащиеся в структуре группы Si–ОН, взаимодействуют с Ca(OH)₂ с образованием соединения CSH(B), близкого по химическому составу к (0,8–1) CaO SiO₂ H₂O [2, 19, 21, 3, 54, 100].

Одновременно за счёт разрыва связей –SiO–SiO– в тетраэдрах кремнезёма вследствие гидролиза образуются новые группы –Si–O...H, которые обеспечивают дальнейшее течение указанной реакции. Гидролизу способствует повышенная концентрация гидроксильных ионов (рН=12...12,5) в результате растворения гидрата окиси кальция в воде. Гидросиликаты кальция образуются в виде гелевидных продуктов с размером первичных полукристаллических частиц 100–250 А. Новообразования обычно имеют вид тонких волокон, пластинок и лепестков неправильной формы.

Таким образом, увеличения активности диатомита можно также достичь, производя специальную его активацию, заключающуюся в увеличении содержания в нем аморфного кремнезема либо проводя его обработку реактивами с образованием в нем соединений, в последующем взаимодействующих с гидроксидом кальция в процессе твердения и обуславливающих дополнительный рост прочности композита.

В связи с этим в работе применяли два вида активации:

- щелочная активация гидроксидом натрия, содой;
- активация, приводящая к увеличению содержания в нем аморфного кремнезема.

В качестве добавки, увеличивающей содержание аморфного кремнезема в диатомите, в работе применяли золь кремниевой кислоты. Щелочную активацию диатомита проводили путем совместного помола в шаровых мельницах с гидроксидом натрия, содой в различных соотношениях.

2.1.1. Закономерности активации диатомита золеи кремниевой кислоты

Для получения золи кремниевой кислоты применялся способ, основанный на ионообменной хроматографии. Жидкое стекло плотностью 1056 кг/м³ пропускали через ионообменную колонку с катионитом и получали золь кремниевой кислоты с рН 4, 5...5,0 и плотностью 1013...1030 кг/м³. Методом турбидиметрии выявлено, что радиус частиц золи плотностью 1027 кг/м³ до 5 сут составляет 17...25 нм, а 7...19 сут – 57...140 нм. Золь кремниевой кислоты стабилен в возрасте до 15 сут, электрокинетический потенциал составляет (–) 0,03...0,103 В. В дальнейшем наблюдается уменьшение электрокинетического потенциала. Величина толщины диффузного слоя в возрасте 1 сут составляет 29,5 нм, что предопределяет его стабильность [9, 52, 53, 55].

Технология введения золи предусматривала смешение молотого диатомита с удельной поверхностью $S_{уд} = 10982,58 \text{ см}^2/\text{см}^3$ с золеи кремниевой кислоты в соотношении 1:(1,1...1,8). Полученная суспензия выдерживалась в течение 1 часа, после чего высушивалась до постоянной массы и измельчалась до той же величины удельной поверхности. В работе применяли диатомит Инзенского месторождения.

Химический состав диатомита, выполненный на спектрометре фирмы «ThermoScientific»), определялся в научно-технологическом центре (НТЦ) ООО «Диатомовый комбинат». Установлено, что содержание SiO₂ в модифицированном диатомите, обработанном золеи кремниевой кислоты при соотношении диатомит: золь кремниевой кислоты=1:1,5, увеличилось до 89,68 %, в то время как в контрольном – 85,81 %, а при соотношении 1:1,8 = 89,73 % (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Химический состав диатомита, %

Вид активации	Содержание оксидов, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
–	85,81	5,03	3,01	1,27	0,832	0,125
Золем кремниевой кислоты в соотношении:						
1:1,1	89,29	4,81	2,70	1,18	0,841	0,119
1:1,3	89,44	4,71	2,75	1,16	0,928	0,133
1:1,5	89,68	4,52	2,76	1,14	0,843	0,078
1:1,8	89,73	4,52	2,75	1,14	0,841	0,074

Для оценки изменения свойств поверхности диатомита в результате его обработки золем кремниевой кислоты была оценена теплота смачивания диатомита водой. Измерение температуры проводилось при помощи электронного прибора «Тен 1». Теплоту смачивания вычисляли по формуле

$$Q = cm\Delta t, \quad (2.1)$$

где c – удельная теплоёмкость смеси;

m – масса навески;

Δt – изменение температуры.

Удельная теплоёмкость смеси c (диатомит и вода) определялась в соответствии с принципом аддитивности по формуле

$$c = \frac{c_1P_1 + c_2P_2}{P_1 + P_2}, \quad (2.2)$$

где c_1, c_2 – удельные теплоемкости соответственно диатомита и воды;

P_1, P_2 – массовые части соответственно диатомита и воды.

Для сравнения активацию диатомита проводили после его термообработки. Полученные результаты представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Теплота смачивания диатомита

Вид активации	Удельная теплота смачивания, кДж/г
Контрольный (без активации)	0,012669
Обработка диатомита золев кремниевой кислоты плотностью $\rho = 1,027 \text{ г/см}^3$ в соотношении:	
1:1,1	0,029
1:1,125	0,032
1:1,5	0,038
1:1,8	0,038
Обработка обожженного диатомита золев кремниевой кислоты плотностью $\rho = 1,027 \text{ г/см}^3$ в соотношении 1:1,5	0,042

Приведенные в табл. 2.3 данные свидетельствуют, что обработка диатомита золев кремниевой кислоты способствует его гидрофиллизации. Так, теплота смачивания контрольного состава составляет $Q = 0,012669 \text{ кДж/г}$, а диатомита, модифицированного золев кремниевой кислоты в соотношении диатомит: золев кремниевой кислоты 1:1,8 – $0,038 \text{ кДж/г}$.

Гидрофиллизация поверхности диатомита в результате его модификации способствует лучшему взаимодействию с минеральным вяжущим.

Был проведен расчет соотношения частиц диатомита и золя. Исходной предпосылкой являлось соотношение

$$S_3 \geq S_d, \quad (2.3)$$

где S_3 – площадь поверхности, покрываемая частицами золя кремниевой кислоты;

S_d – площадь поверхности диатомита.

Расчет вели для соотношении диатомит (Д):золя(З) = 1:1,8 при массе диатомита $m = 1$ г. Количество частиц диатомита в 1 г определяли по формуле

$$N_d = \frac{m_d}{\rho_d \frac{\pi}{6} d_d^3}, \quad (2.4)$$

где m_d – масса диатомита, г;

ρ_d – плотность диатомита, г/см³;

d_d – диаметр частиц диатомита, см.

Результаты расчета показали, что число частиц диатомита составляет $N_d = 76277884$. Объем одной частицы диатомита диаметром 14,63 мкм составляет

$$V_{1d} = \frac{4\pi d_d^3}{3} = 1,31 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3. \quad (2.5)$$

Масса золя, окаймляющая частицу диатомита, равна

$$m_{1з} = \frac{m_з}{N_d} = \frac{1,8}{76277884} = 2,3597 \cdot 10^{-8} \text{ г}. \quad (2.6)$$

Объем золя массой $m_{1з}$ равен

$$V_{1з} = \frac{m_{1з}}{\rho_з} = \frac{2,3597 \cdot 10^{-8}}{1,027} = 2,2977 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3. \quad (2.7)$$

Тогда объем частицы диатомита, окруженной золем кремниевой кислоты, равен

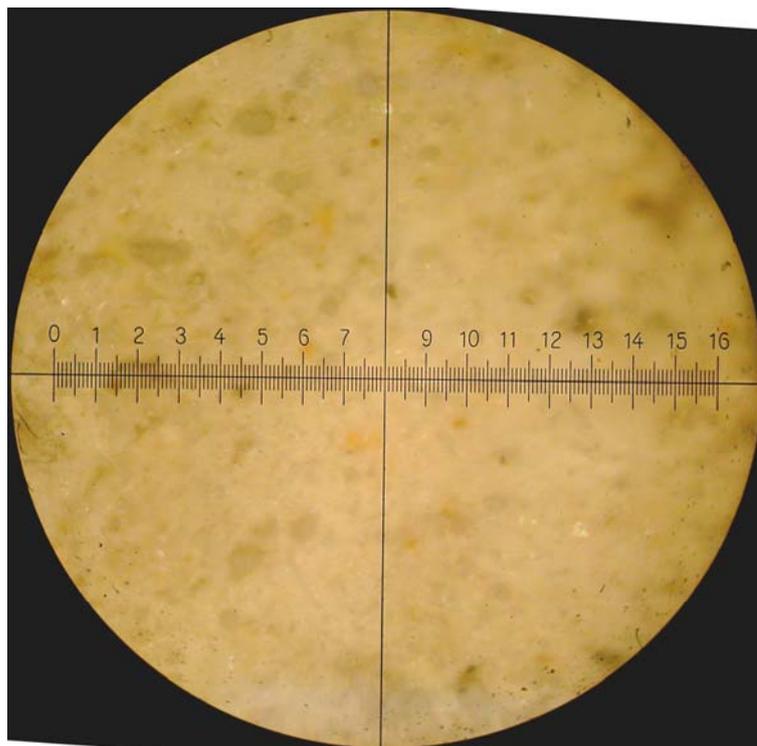
$$V_{\text{общ}} = V_{1d} + V_{1з} = 1,31 \cdot 10^{-8} + 2,2977 \cdot 10^{-8} = 3,677 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3, \quad (2.8)$$

а диаметр частицы диатомита с золем $d_{\text{общ}} = d_{1d} + d_{1з} = 0,01025$ см.

Толщина оболочки золя вокруг частицы диатомита составляет 43,935 мкм. Однако в процессе высушивания модифицированного диатомита при температуре 105 °С толщина оболочки золя уменьшается и будет составлять 26,98 мкм (исходя из того, что сухой остаток золя кремниевой кислоты составляет 4 %).

При изучении структуры диатомита при небольшом увеличении установлено, что размер пор контрольного образца составляет 0,2–1,2 мкм, после обработки диатомита золем кремниевой кислоты размер пор составляет 0,2–0,6 мкм, при этом наблюдается уменьшение количества пор (рис. 2.3).

а



б

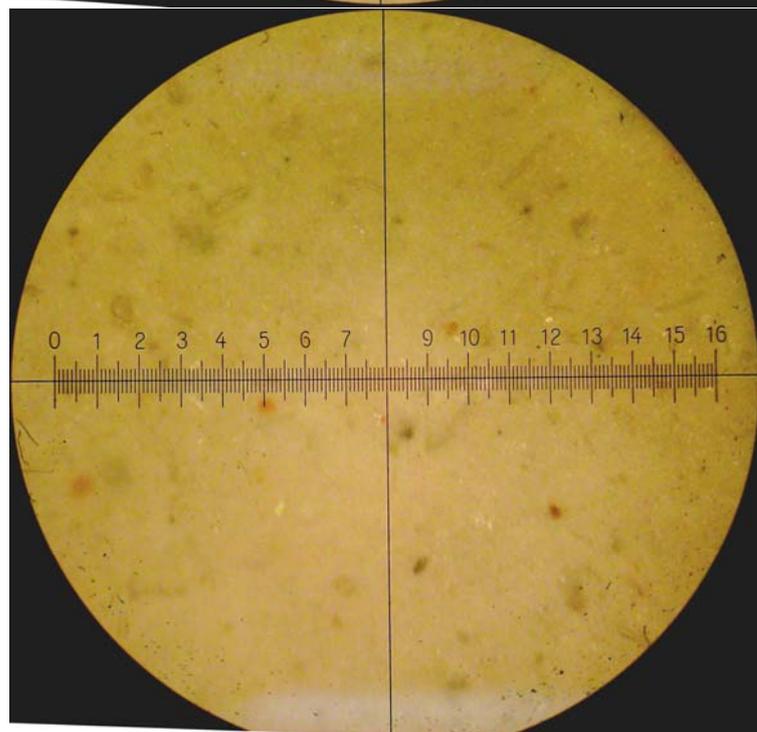


Рис. 2.3. Структура диатомита (x200):
а – контрольный (без обработки); б – обработанный золев кремниевой кислотой в соотношении диатомит:золь = 1:1,3

Для оценки локальной структуры поверхности диатомита применяли методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), в частности, использовался атомно-силовой микроскоп, работающий в режиме с использованием кремниевых кантиливеров, имеющих радиус закругления острия 15 нм [6, 54, 61].

Характерный вид поверхности диатомита показан на АСМ-изображении на рис. 2.4, 2.5. Анализ АСМ-изображения свидетельствует об изменении высоты поверхностного рельефа, что подтверждается периодическим чередованием светлых и темных полос в изображении. Значение фрактальной размерности поверхностного фрактала для поверхности неактивированного диатомита составляет $D = 2,52$ (рис. 2.4, а).

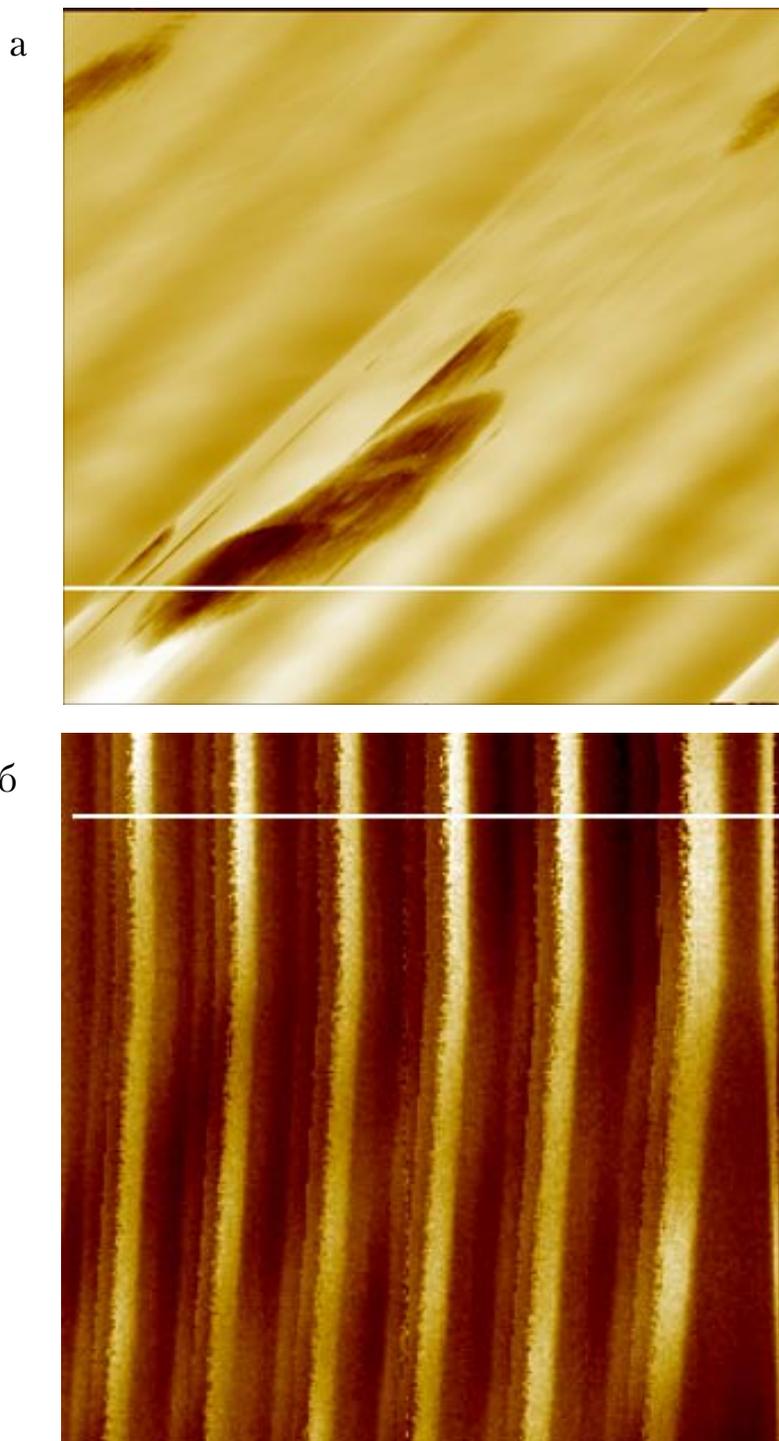


Рис. 2.4. АСМ-изображение поверхности диатомита:
а – не активированного;
б – активированного золев кремниевой кислоты в соотношении 1:1,5

В

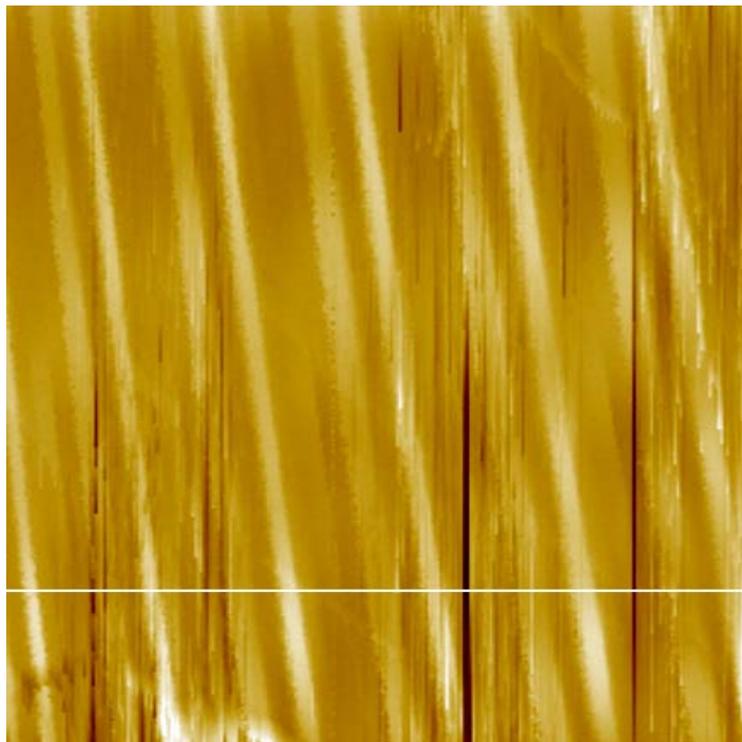


Рис. 2.4. АСМ-изображение поверхности диатомита (окончание):
в – активированного золев кремниевой кислоты в соотношении 1:1,3

а

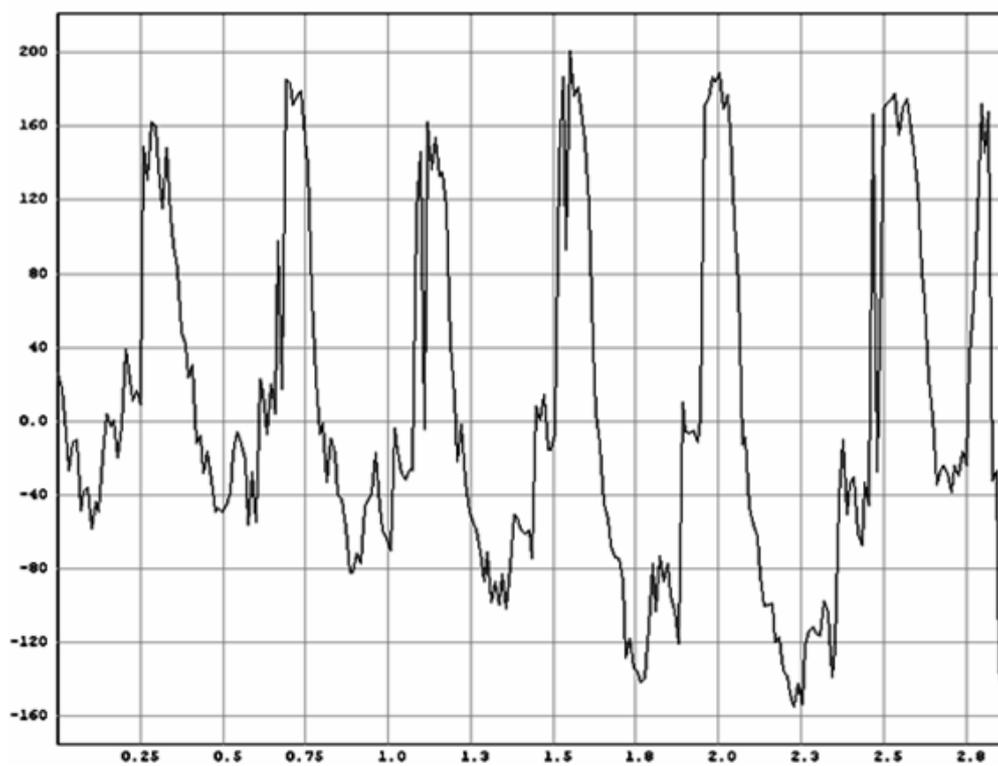


Рис. 2.5. Рельеф поверхности диатомита, активированного золев кремниевой кислоты в соотношении 1:1,5 (а), построенного вдоль соответствующей линии (начало)

6

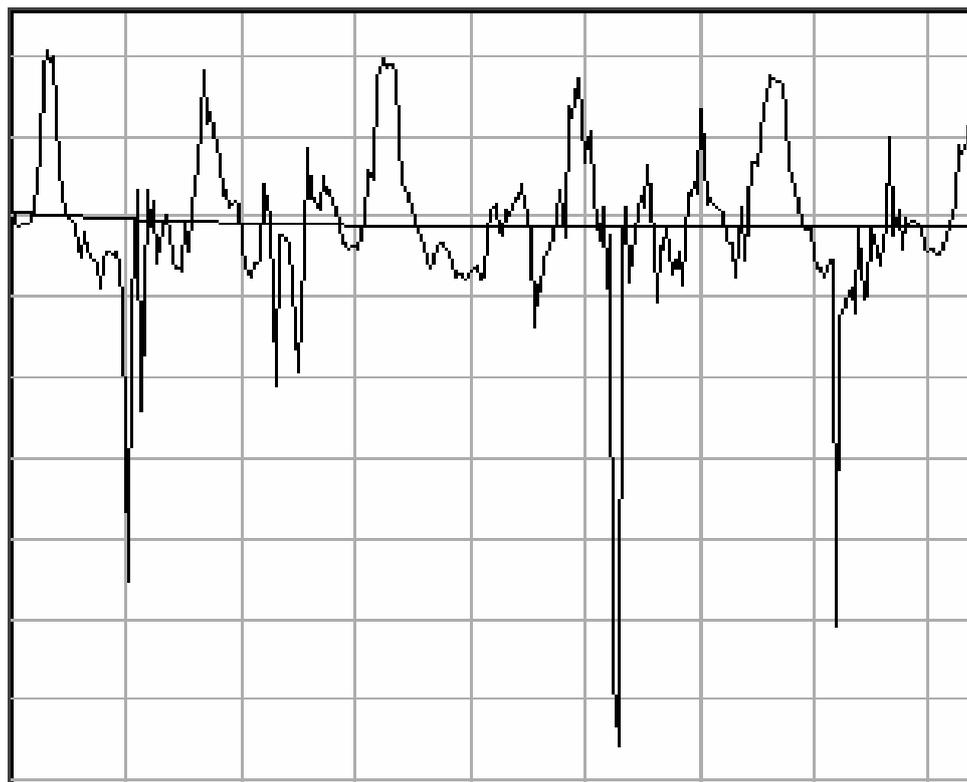


Рис. 2.5. Рельеф поверхности диатомита, активированного золев кремниевой кислоты в соотношении 1:1,3 (б), построенного вдоль соответствующей линии (окончание)

Шероховатость поверхности диатомита составляет $R_a = 989$ нм, а обработанного золев кремниевой кислоты в соотношении 1:1,5, – $R_a = 55,9$ нм. Перепад высот на гладких участках поверхности диатомита, обработанного золев кремниевой кислоты в соотношении 1:1,5, не превышает 100 нм на пути длиной 2,88 мкм, 50...95 % приходится на высоту рельефа поверхности, составляющей 80,1 нм, а 10...50 % – 128 нм. Значение фрактальной размерности поверхностного фрактала составляет $D = 2,05$ (рис. 2.5).

Установлено, что поверхность содержит определенное количество пор нанометрического диапазона, отличающихся друг от друга по размерам и форме. В основном присутствуют поры с диаметром от 75 до 150 мкм (рис. 2.6, а), в то время как у неактивированного диатомита – от 150 до 650 мкм. Уменьшение количества кремнезоля, пошедшего на активацию диатомита, способствует повышению неоднородности его поверхности. Значение фрактальной размерности поверхностного фрактала при активации диатомита золев кремниевой кислоты в соотношении 1:1,3 составляет $D = 2,26$, что свидетельствует о более неоднородной шероховатой поверхности. Значение шероховатости R_a

составляет $R_a = 142$ нм, 50...95 % приходится на высоту рельефа поверхности, составляющей 208 нм, а 10...50 % – 271 нм.

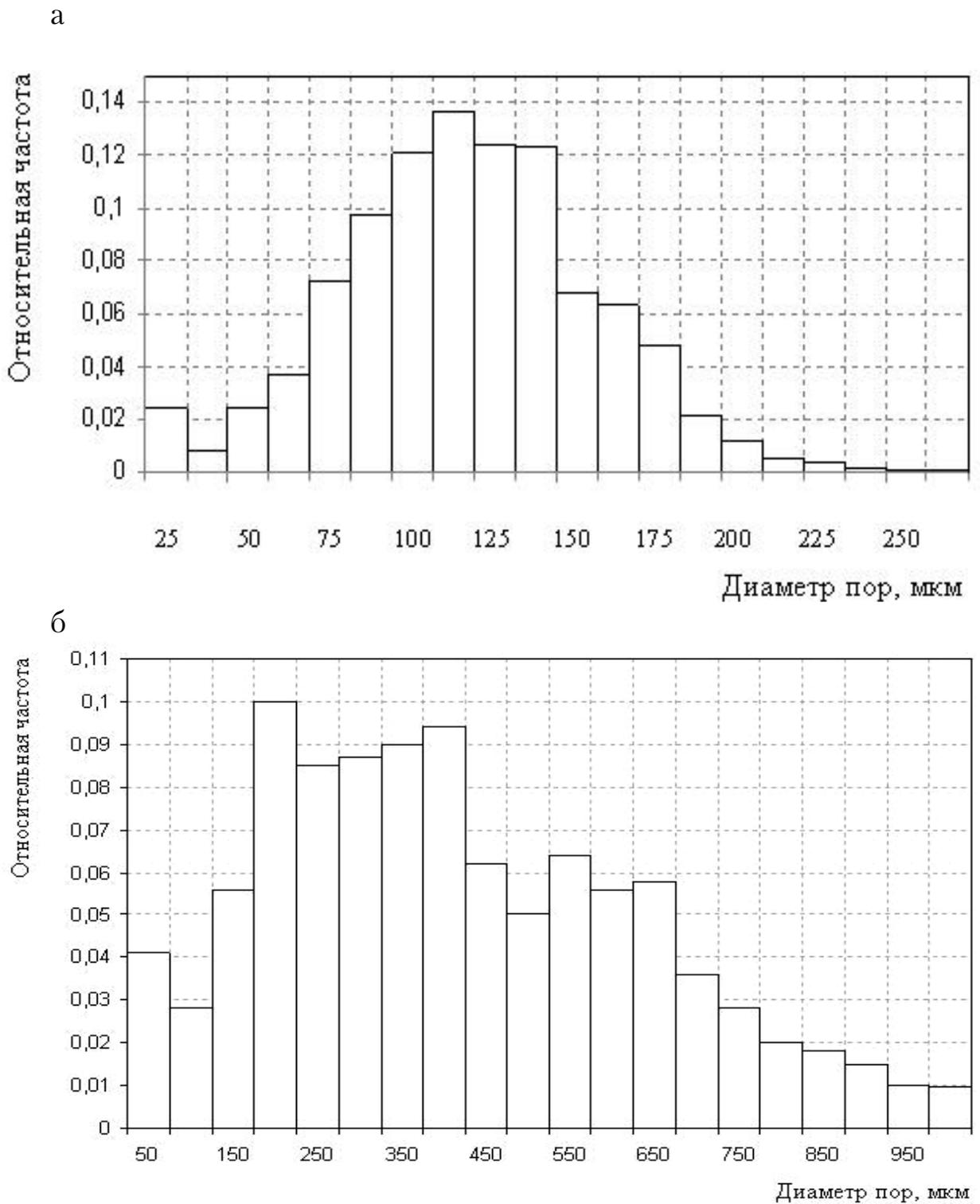


Рис. 2.6. Гистограмма распределения диаметра пор диатомита:
 а – активированного кремнеземом в соотношении 1:1,5;
 б – немодифицированного

Дополнительно для оценки эффективности модификации диатомита определяли его активность как минеральной добавки по величине растворимости в 20 % растворе КОН [19, 21]. Установлено, что активность немодифицированного диатомита составляет 370 мг/г, а активность модифицированного диатомита 400 мг/г.

2.1.2. Закономерности щелочной активации диатомита

Активацию диатомита проводили путем совместного помола в шаровых мельницах с гидроксидом натрия и кальцинированной содой в различных соотношениях. Помол осуществлялся до величины удельной поверхности $S_{уд}$, составляющей $S_{уд} = 11248 \text{ см}^2/\text{см}^3$.

При рентгенофазовом анализе (РФА) установлено, что на рентгенограмме образцов, полученных совместным помолом диатомита и гидроксида натрия NaOH в соотношении 1:0,2, присутствуют дифракционные линии (Å) следующих соединений:

- кремнезем: 3,349; 2,966; 2,364;
- гидросиликаты натрия: 2,555; 2,449; 2,364; 1,815;
- карбонат натрия: 1,706; 1,668; 1,404.

Анализ рентгенограмм образцов показывает, что степень закристаллизованности образцов невысокая (рис. 2.7). Методом рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что на рентгенограмме образцов базового диатомита (без активации) присутствуют дифракционные линии (Å) следующих соединений:

- каолинит ($d = 3,3265$; $d = 1,9803$);
- кварц: 4,242; 3,338; 2,455; 2,128.

На рис. 2.8а показано АСМ-изображение поверхности диатомита, активированного гидроксидом натрия в соотношении 1:0,2, вместе с поперечным сечением рельефа вдоль линии, показанном на рис. 2.8,б. Хорошо видно периодическое чередование светлых и темных полос в изображении, что говорит об изменении высоты поверхностного рельефа.

Шероховатость поверхности равна $Ra = 154 \text{ нм}$. Максимальная высота рельефа составляет 886 нм на пути длиной 3,092 мкм. Высота рельефа, равная 257 нм, составляет 50–95 % поверхности, а 10–50 % – 293 нм. Значение фрактальной размерности поверхностного фрактала составляет $D = 2,66$, что также свидетельствует о развитой поверхности.

а

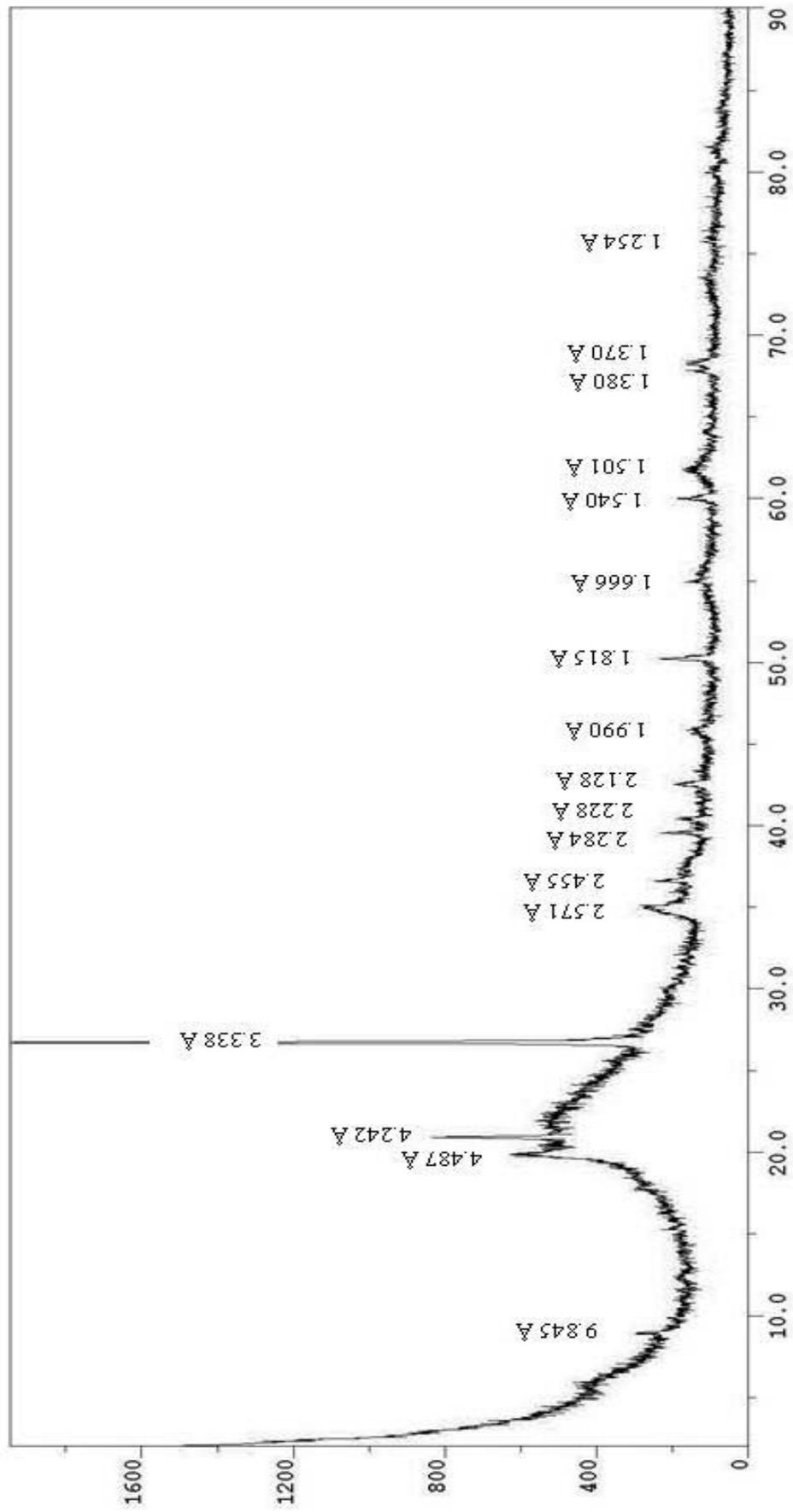


Рис. 2.7. Рентгенограмма диагомита (начало):
а – базовый диагомит

б

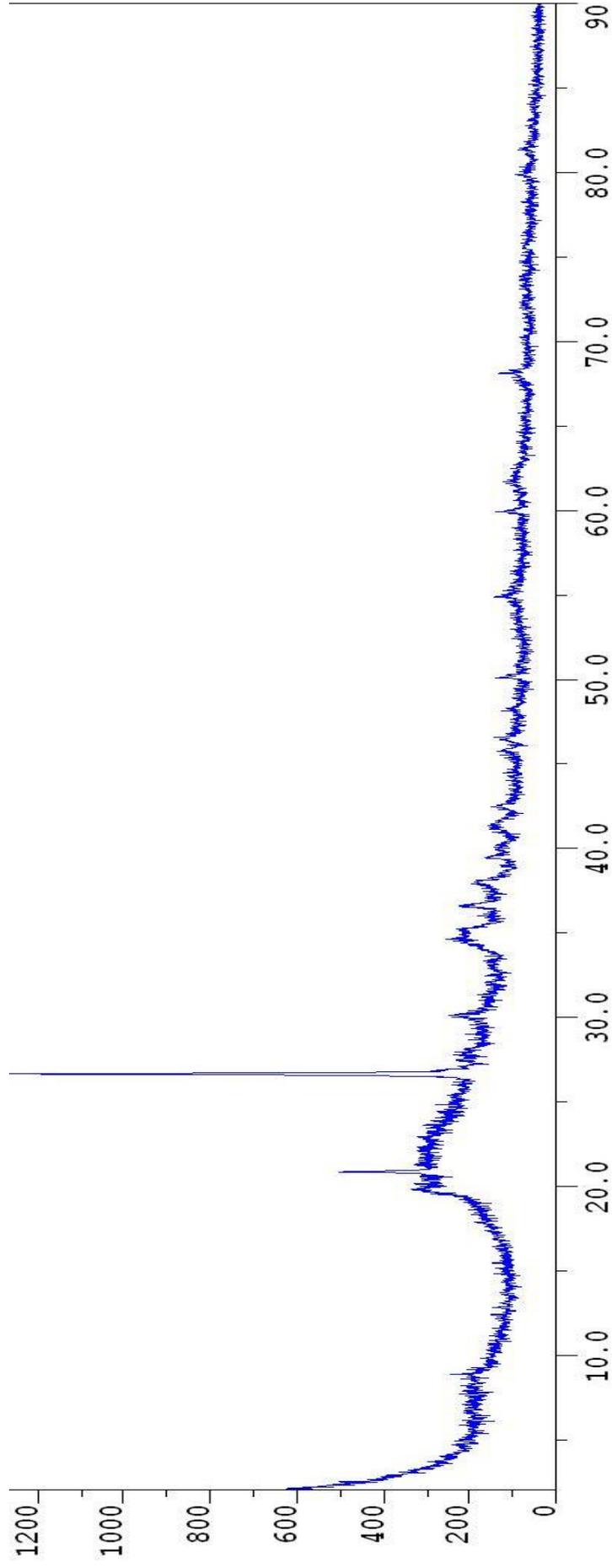
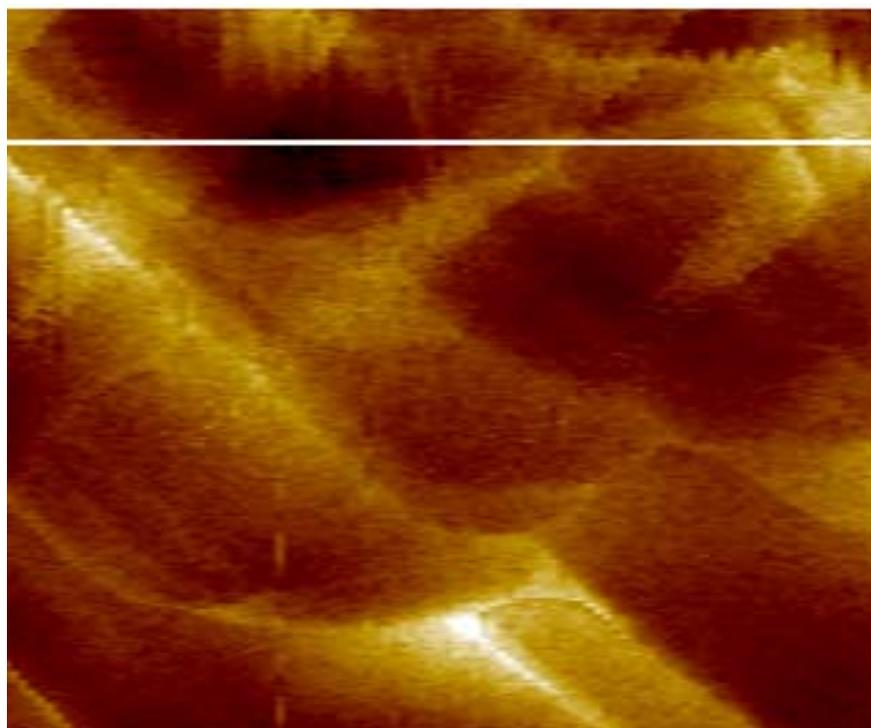


Рис. 2.7. Рентгенограмма диатомита (окончание):
б – активированного гидроксидом натрия

а



б

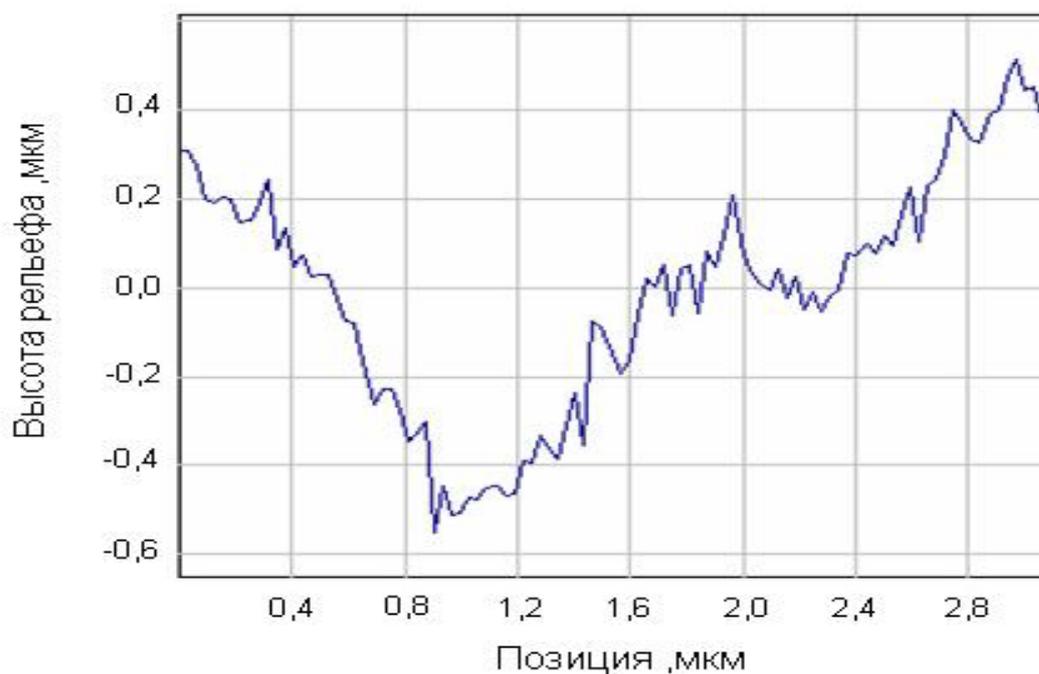


Рис. 2.8. АСМ-изображение поверхности диатомита, активированного гидроксидом натрия в соотношении 1:0,2 (а) и рельефа поверхности (б), построенного вдоль соответствующей линии

Результаты исследований свидетельствуют, что преобладают поры диаметром от 80 до 200 нм, их удельный вес составляет 70,6 % (рис. 2.9).

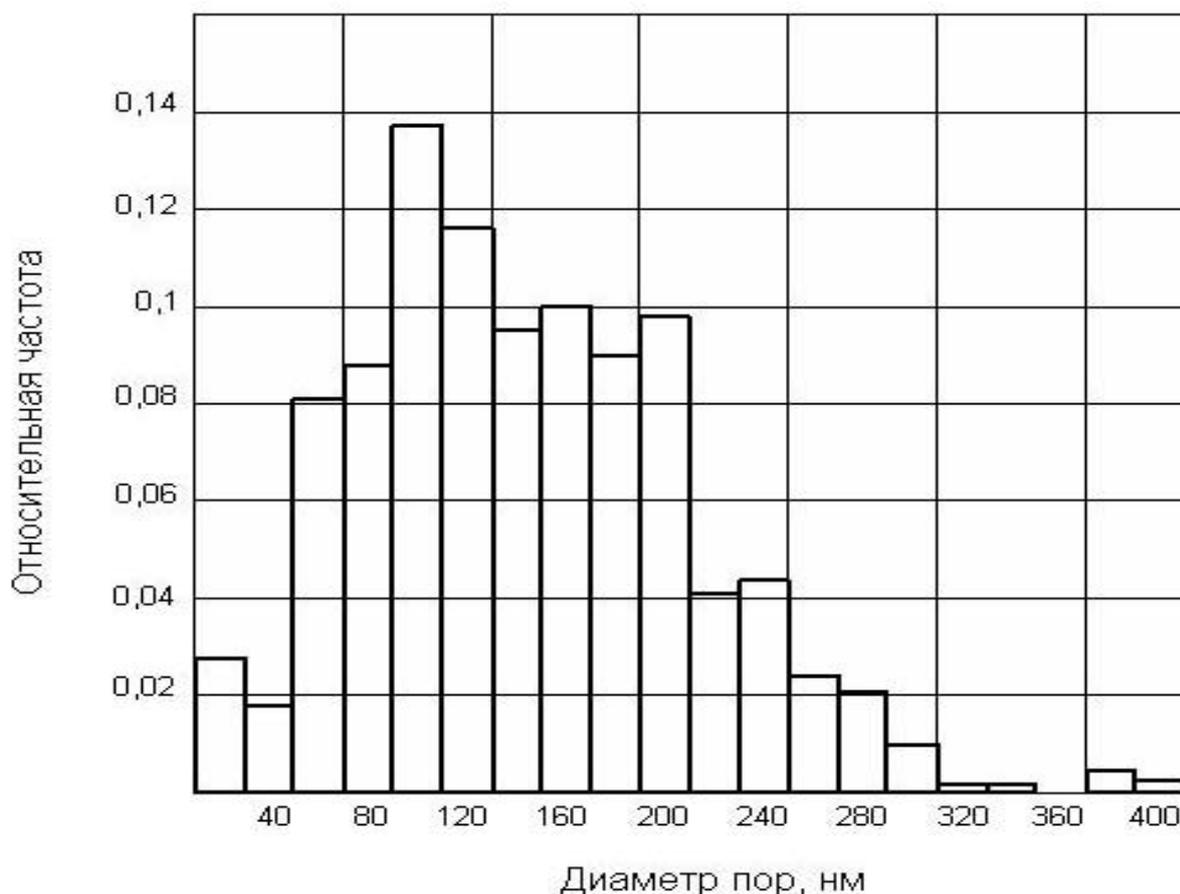


Рис. 2.9. Гистограмма распределения диаметра пор диатомита, активированного гидроксидом натрия в соотношении 1:0,2

При изучении состава диатомита, измельченного в присутствии кальцинированной соды, установлено, что фазовый состав представлен следующими соединениями (рис. 2.10):

- карбонат натрия ($d, \text{Å}$) – 1,500; 1,200;
- кварц ($d, \text{Å}$) – 4,267; 2,455; 2,281; 2,128; 1,993; 1,817; 1,671; 1,373;
- цеолит ($d, \text{Å}$) – 9,949; 4,473; 4,267; 2,772;
- силикат натрия ($d, \text{Å}$) – 2,963; 2,651; 2,593; 2,459; 2,372; 1,886.

Результаты РФА, сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) свидетельствуют об изменении структуры и состава диатомита в результате щелочной его активации, появлении новых дополнительных соединений, которые при взаимодействии диатомита с известью способны образовывать дополнительные химические соединения.

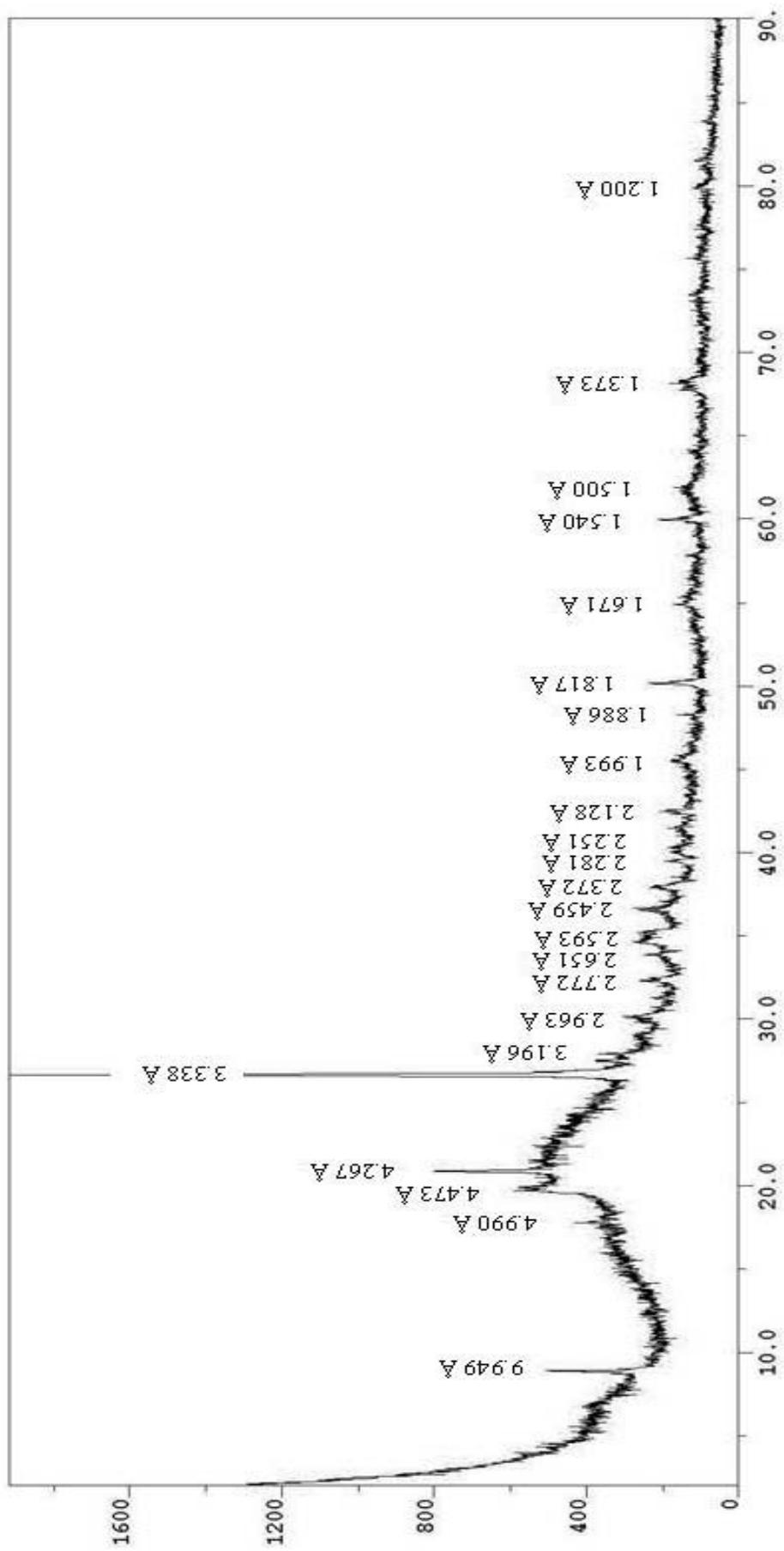


Рис. 2.10. Рентгенограмма образцов диатомита, модифицированного кальцинированной содой

2.2. Выбор вида активации диатомита

Эффективность активации оценивали по показателям прочности известково-диатомитовых композитов. Предварительными исследованиями установлено оптимальное соотношение известь:диатомит, составляющее 1:4. В работе применяли известь 2 и 3 сортов с активностью соответственно 84 % и 72 %. Образцы формовались с водоизвестковым отношением В/И, равным $V/I = 6,0$ и твердели в воздушно-сухих условиях при температуре окружающего воздуха 18–20 °С и относительной влажности 60–70 %. Результаты исследований приведены в табл. 2.4.

Т а б л и ц а 2 . 4

Прочность при сжатии известково-диатомитовых композиций
в зависимости от вида активации диатомита

Состав	Прочность при сжатии, МПа		
	Время твердения, сут		
	7	14	28
Известь:диатомит = 1:4, В/И=6,0	1,3	1,52	1,82
Известь:диатомит = 1:4, диатомит, активированный в соотношении диатомит : NaOH = 1:0,1, В/И=6,0	3,07	3,36	3,6
То же, в соотношении диатомит : NaOH = 1:0,2, В/И=6,0	3	3,8	6,24
Известь : диатомит = 1:4, диатомит, активированный содой Na_2CO_3 в соотношении диатомит : Na_2CO_3 = 1:0,1, В/И=6,0	2,24	–	2,68
Диатомит, активированный в соотношении диатомит : золь = 1:1,1, В/И=6,0	2,76	2,76	2,88
Диатомит, активированный в соотношении диатомит : золь = 1:1,3 В/И=6,0	2,82	2,88	3,72
Диатомит, активированный в соотношении диатомит : золь = 1:1,5 В/И=6,0	3,12	3,36	3,92

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что активацию диатомита эффективнее производить за счёт увеличения аморфного кремнезема золев кремниевой кислоты в соотношении диатомит : золь кремниевой кислоты = 1:1,5.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что активация диатомита щелочью приводит к более значительному увеличению прочности при сжатии известково-диатомитовых композитов по сравнению с активацией диатомита золев кремниевой кислоты. Так, прочность при сжатии контрольного состава (без активации диатомита) в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения составляет $R_{сж} = 1,82$ МПа, а с использованием активированного гидроксидом натрия NaOH – 3,6–6,24 МПа.

Однако подобные известковые составы характеризуются наличием на поверхности образующихся покрытий высолов, особенно под действием влаги.

Активации диатомита кальцинированной содой приводит к значительному росту прочности. Прочность при сжатии образцов на основе составов с использованием диатомита, активированного кальцинированной содой в соотношении диатомит:Na₂CO₃ = 1:0,1, составляет $R_{сж} = 2,68$ МПа, т.е. увеличение прочности составляет 47 %.

Учитывая, что щелочная активация диатомита приводит к появлению высолов на поверхности известково-диатомитовых покрытий, в дальнейшем был выбран способ активации диатомита за счёт увеличения аморфного кремнезёма золев кремниевой кислоты.

3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ИЗВЕСТКОВО-ДИАТОМИТОВЫХ КОМПОЗИТОВ

3.1. Исследование закономерностей структурообразования известково-диатомитовых композиций на основе модифицированного кремнеземом диатомита

Твердение извести обусловлено одновременным протеканием двух процессов: кристаллизации гидроксида кальция из насыщенного водного раствора и образования карбоната кальция. При испарении воды из раствора гелевидная масса известкового теста уплотняется и упрочняется.

Кристаллы образующегося карбоната срастаются друг с другом, с частицами $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и песка, обуславливая твердение. Объем твердой фазы увеличивается, что приводит к дополнительному уплотнению и упрочнению, твердеющего раствора. Наряду с карбонатом кальция возможно также образование соединений типа $\text{CaCO}_3 \cdot n\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Испарение влаги и карбонизация растворов протекают очень медленно. Последняя захватывает преимущественно поверхностные слои, что объясняется малой концентрацией CO_2 в воздухе (0,03 %) и большой плотностью пленки образующегося карбоната, сильно затрудняющей дальнейшее проникание углекислоты к внутренним слоям раствора.

При введении в известь активных кремнеземсодержащих добавок процесс твердения дополнительно обуславливается образованием гидросиликатов кальция [7, 19, 21, 39, 69, 80, 100].

В работах [50] отмечается увеличение механизма гидросиликатного твердения за счет активации диатомита как добавки к известковым композициям. Установлено, что термообработка диатомита при температуре 900 °С увеличивает активность взаимодействия с минеральным вяжущим. Вследствие этого увеличивается прочность конечного продукта.

Для оценки влияния на процессы структурообразования известковых композициях модифицированного золев кремниевой кислоты диатомита были проведены следующие исследования. Определено оптимальное соотношение известь:диатомит. Образцы с использованием диатомита удельной поверхности $S_{\text{уд}} = 10982 \text{ см}^2/\text{см}^3$ формовались с водоизвестковым отношением В/И, равным 2,8 и 6,0 и твердели в воздушно-сухих условиях при температуре окружающего воздуха 18–20 °С и относительной влажности 60–70 %. Результаты исследования показаны в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

Прочность при сжатии известково-диатомитовых композиций, МПа

Состав известь:диатомит, В/И = 6	Возраст твердения, сут		
	7	14	28
1:1	0,9	1,1	1,3
1:2	1,18	1,23	1,4
1:3	1,23	1,35	1,6
1:4	1,3	1,52	1,82
1:5	1,1	1,25	1,5

Установлено, что оптимальное соотношение известь:диатомит составляет 1:4. При данном соотношении достигается максимальное значение прочности в возрасте 28 суток, равное $R_{сж} = 1,82$ МПа. Полученные результаты хорошо согласуются с данными [50, 80].

Математическая модель, отражающая кинетические процессы набора прочности, описывается экспоненциальной зависимостью:

$$R = R_m (1 - e^{-kt}), \quad (3.1)$$

где R и R_m – значения прочности в различный период времени t ;

t – время твердения;

k – коэффициент, зависящий от состава вяжущего.

После математической обработки экспериментальных данных представленных в табл. 3.1, зависимость (3.1) приняла вид:

$$R = 1,892(1 - e^{-0,01965t}) \text{ – для состава известь:диатомит 1:3.}$$

Для исследования влияния дисперсности диатомита на свойства известково-диатомитового композита были проведены испытания образцов на сжатие (табл. 3.2).

Т а б л и ц а 3.2

Прочность при сжатии известково-диатомитовых композиций

Значения удельной поверхности $S_{уд}$, см ² /см ³	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа
5500	1,5
6900	1,6
10982	1,82
12100	1,88

Установлено, что дисперсность диатомита оказывает существенное влияние на показатели прочности при сжатии известковых композиций. Увеличение дисперсности способствует возрастанию прочности

при сжатии известково-диатомитовых образцов. В возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения прочность при сжатии образцов с использованием диатомита $S_{уд} = 5500 \text{ см}^2/\text{см}^3$ составила $R_{сж} = 1,5 \text{ МПа}$, у состава с $S_{уд} = 10982 \text{ см}^2/\text{см}^3 - R_{сж} = 1,82 \text{ МПа}$.

По результатам испытания образцов была подобрана оптимальная удельная поверхность частиц диатомита $S_{уд} = 10982 \text{ см}^2/\text{см}^3$, так как дальнейшее измельчение частиц диатомита связано со значительными энергозатратами, а прирост прочности незначителен.

Для исследования закономерностей влияния соотношения золь: диатомит на свойства известково-диатомитовых композитов, были проведены испытания образцов на сжатие.

Образцы с применением диатомита удельной поверхности $S_{уд} = 10982 \text{ см}^2/\text{см}^3$ формовались с водоизвестковым отношением В/И, равным 2,8; 6,0, и твердели в воздушно-сухих условиях при температуре окружающего воздуха 18–20 °С и относительной влажности 60–70 % (табл. 3.3).

Т а б л и ц а 3.3

Прочность при сжатии известково-диатомитовых композиций

Сорт изве- сти	Водоиз- вестковое отноше- ние, В/И	Состав	Прочность при сжатии, МПа		
			Возраст твердения, сут		
			7	14	28
3	2,8	Контрольный	1,2	1,4	1,6
2	2,8	Диатомит, активированный в соотношении диатомит: золь = 1:1,125	2,3	2,8	3,1
2	6,0	Контрольный	1,3	1,52	1,82
2	6,0	Диатомит, активированный в соотношении диатомит: золь = 1:1,1	2,8	2,8	2,9
2	6,0	Диатомит, активированный в соотношении диатомит: золь = 1:1,3	2,8	2,9	3,7
2	6,0	Диатомит, активированный в соотношении диатомит: золь = 1:1,5	3,1	3,4	3,9

Выявлено, что с увеличением содержания золя кремниевой кислоты, применённого на активацию, происходит увеличение прочности известково-диатомитовых композитов на основе модифицированного диатомита. Составы на основе не модифицированного диатомита имеют прочность при сжатии в возрасте 28 суток твердения в зависимости от водоизвесткового отношения, равную 1,6–1,82 МПа, а с применением диатомита, активированного золем кремниевой кислоты, – 3,12...3,92 МПа, т.е. увеличение прочности составляет в 1,95–2,15 раз. В соответствии с DIN 18550 такие составы являются трещиностойкими.

Для создания модели прочности известково-диатомитового композита в работе применяли методы математического планирования эксперимента. Рассмотрены три основных фактора: удельная поверхность диатомита (x_1), известково-диатомитовое (x_2) и водоизвестковое отношения (x_3). Условия изменения переменных и матрица планирования приведена в табл. 3.4–3.5.

Таблица 3.4

Условия изменения переменных

Наименование	Кодированное обозначение	Переменные		
		x_1	x_2	x_3
Нижний уровень	-1	5000	2,8	0,2
Верхний уровень	+1	11000	6,0	1,0
Основной уровень	0	8000	4,4	0,6
Интервал варьирования	Δ	3000	1,6	0,4

Таблица 3.5

Матрица планирования

№ опыта	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

После обработки экспериментальных данных было получено уравнение регрессии, характеризующее зависимость прочности известково-диатомитового композита от указанных факторов.

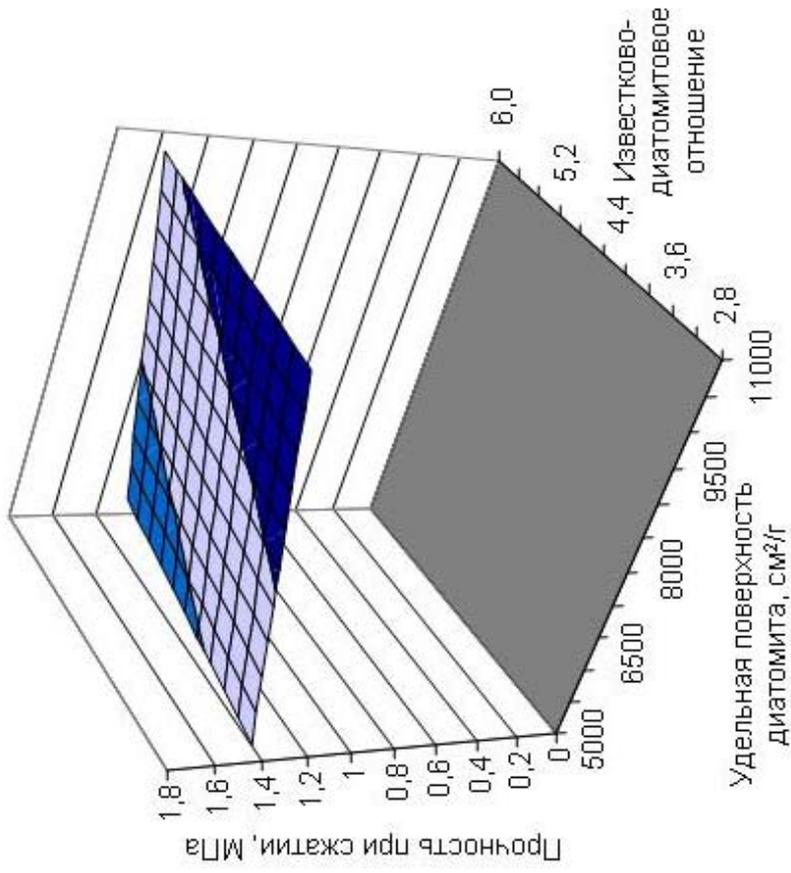
$$y = 1,39 + 0,15x_1 - 0,097x_2 - 0,13x_3 - 0,00937x_1x_2 - 0,021x_1x_3 + 0,028x_2x_3 + 0,16x_1x_2x_3.$$

Однородность дисперсий проверялась по критерию Кохрена, адекватность модели проверялась по критерию Фишера, а значимость коэффициентов – по критерию Стьюдента. После исключения из уравнения регрессии незначимых коэффициентов уравнение приобрело следующий вид:

$$y = 1,39 + 0,15x_1 - 0,097x_2 - 0,13x_3.$$

Графическая интерпретация полученных данных представлена на рис. 3.1–3.3.

а



б

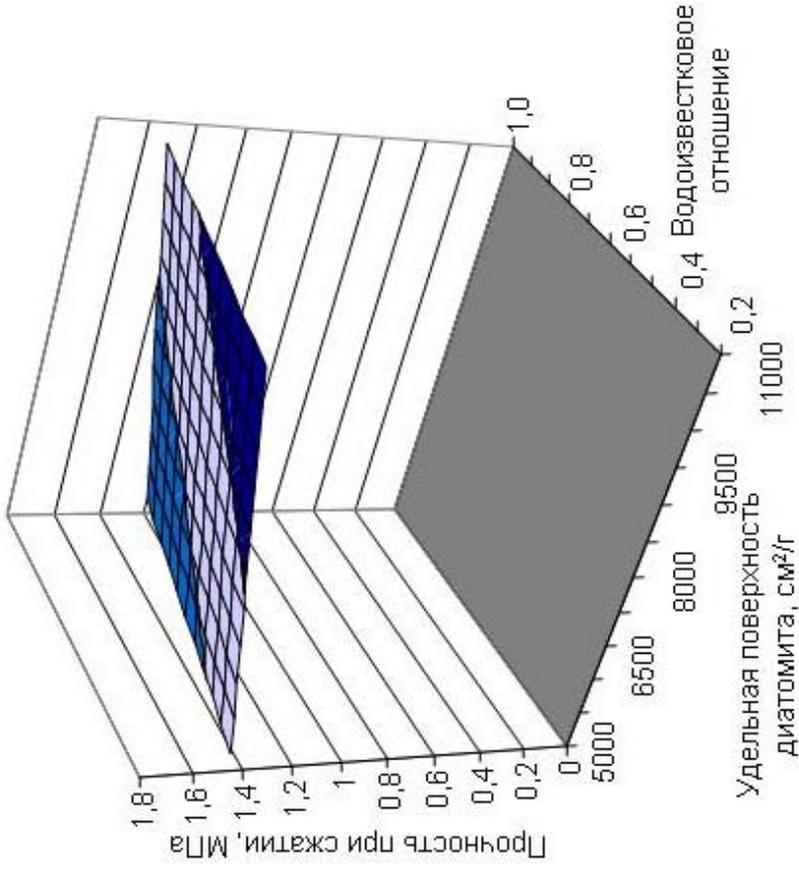
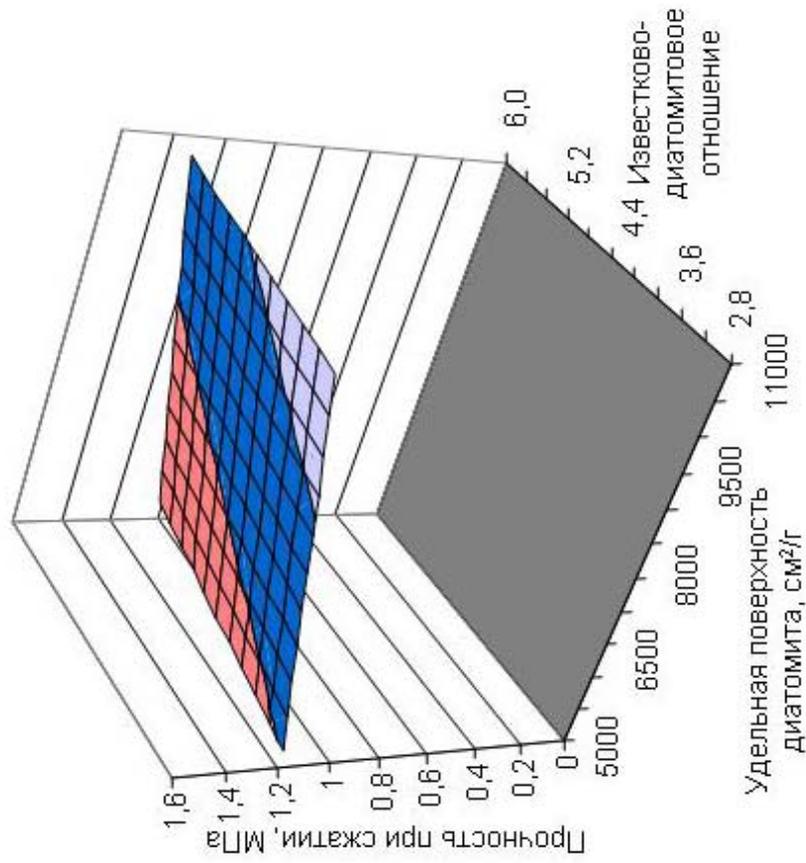


Рис. 3.1. Прочность известково-диатомитового композита в зависимости от удельной поверхности диатомита $S_{уд}$ и известково-диатомитового отношения:

- а – при водоизвестковом отношении равном 0,2;
- б – при водоизвестковом отношении равном 1,0

а



б

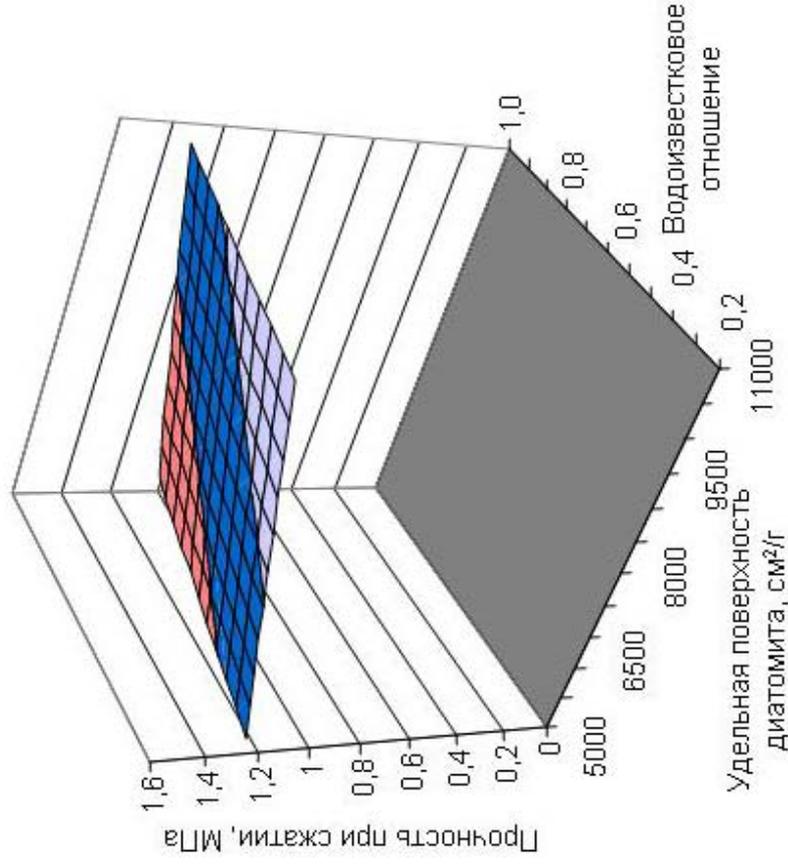
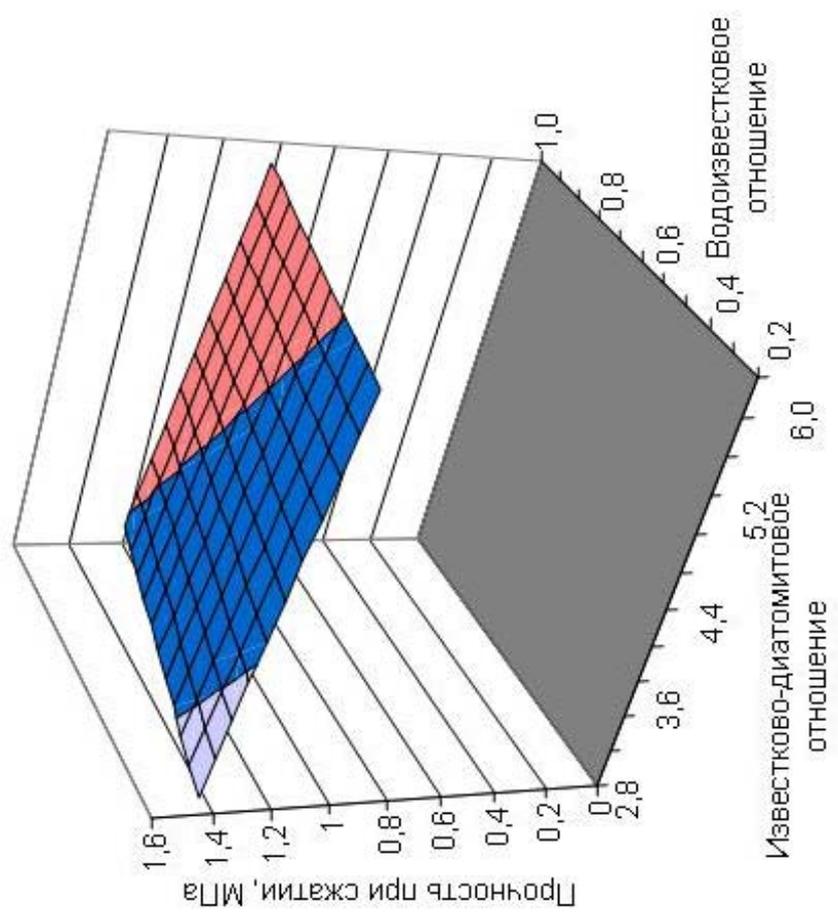


Рис. 3.2. Прочность известково-диатомитового композита в зависимости от удельной поверхности диатомита $S_{уд}$ и водоизвесткового отношения:
а – при известково-диатомитовом отношении равном 2,8;
б – при известково-диатомитовом отношении равном 6,0

а



б

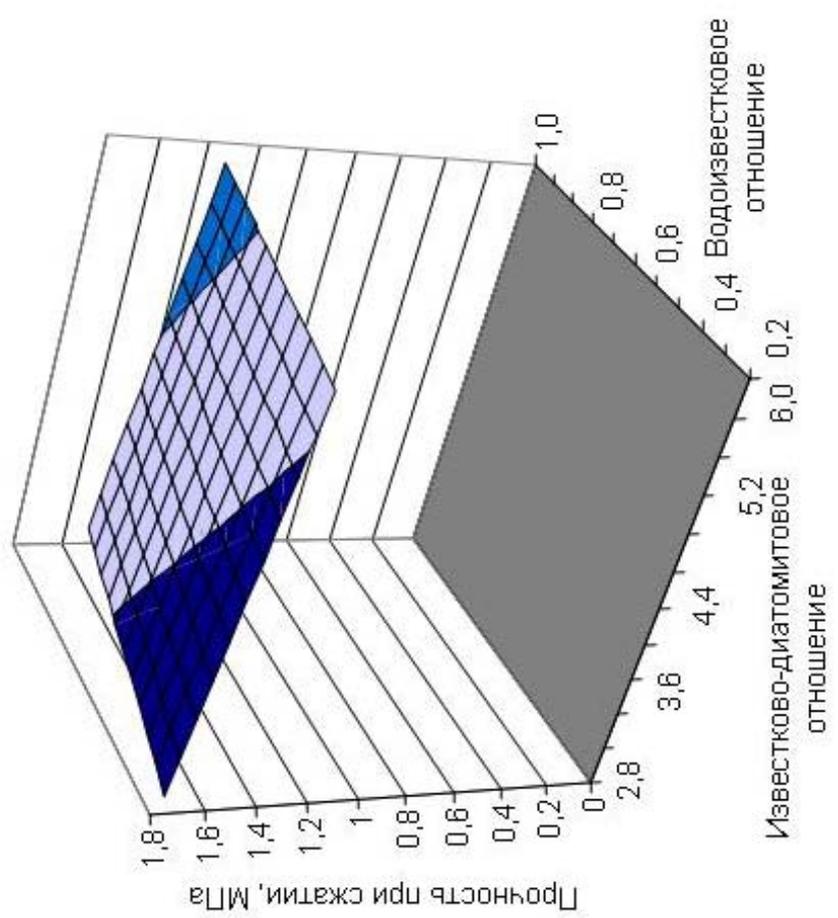


Рис. 3.3. Прочность известково-диатомитового композита в зависимости от известково-диатомитового и водозвесткового отношений:

- а – при удельной поверхности диатомита $S_{уд} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$;
- б – при удельной поверхности диатомита $S_{уд} = 11000 \text{ см}^2/\text{г}$

Полученные коэффициенты уравнения регрессии свидетельствуют о том, что повышения прочности известково-диатомитового композита можно достичь за счет увеличения удельной поверхности диатомита и одновременного уменьшения водоизвесткового отношения. Известково-диатомитовое отношение в совокупности с рассматриваемыми факторами серьезного влияния на прочность композита не оказывает.

Для оценки фазового состава известкового композита применяли методы РФА и дифференциально-термического анализа (ДТА). Установлено, что базовый состав известково-диатомитовых образцов представлен интенсивными линиями 10,059 Å, 3,353 Å, 3,042 Å, 2,456 Å, относящимися к кварцу и менее интенсивными линиями 1,797 Å, 1,685 Å, 1,542 Å, относящимися к гидросиликатам кальция [8, 15, 28, 36, 40, 45, 106]. Кроме того, идентифицируются портландит (4,902 Å, 3,11 Å, 2,634 Å) и кальцит (2,283 Å, 1,875 Å) (рис. 3.4 а).

На рентгенограмме известково-диатомитовых образцов с применением диатомита, активированного золев кремниевой кислоты, идентифицируются линии, относящиеся к гидросиликатам (4,256 Å, 3,037 Å, 1,481 Å), однако по сравнению с контрольным составом (без активации диатомита) интенсивность пиков увеличена. Кроме того, уменьшается интенсивность пиков, относящихся к портландиту (2,634 Å, 1,796 Å, 1,685 Å) (рис. 3.2, б).

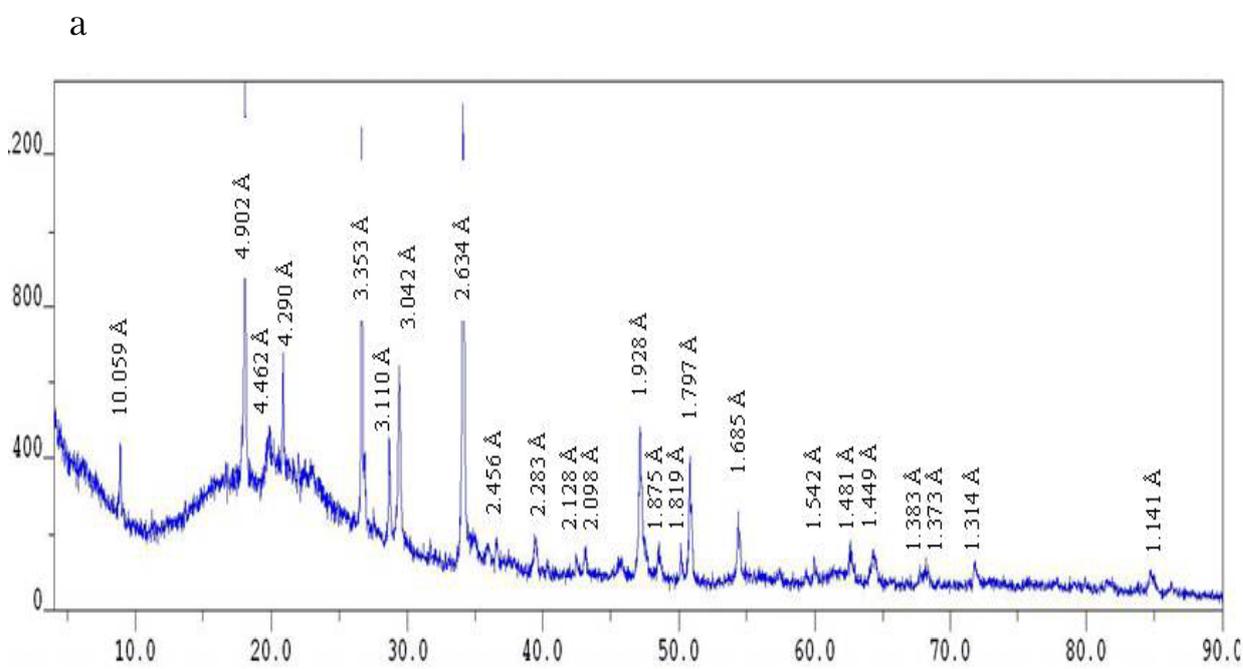


Рис. 3.4. Рентгенограмма известково-диатомитовых композитов (начало):
а – базовый состав

б

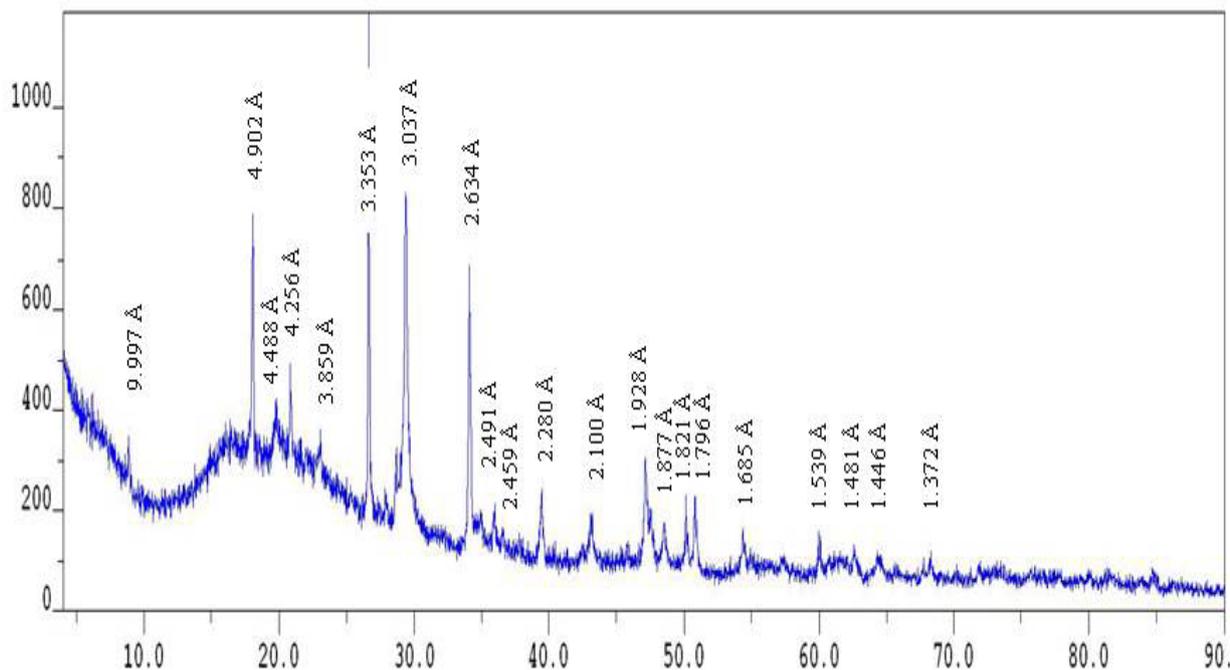


Рис. 3.4. Рентгенограмма известково-диатомитовых композитов (окончание):
б – состав на основе диатомита, модифицированного кремнезолом

Полученные данные свидетельствуют о более интенсивном взаимодействии извести с модифицированным диатомитом. Было определено также количество свободной извести CaO в процессе твердения известкового композита, которое оценивали титрованием [19, 21]. На рис. 3.5 приведены данные, характеризующие изменение химически связанной извести в процессе твердения известковых композитов, изготовленных с применением извести 3-го сорта с активностью 71 %.

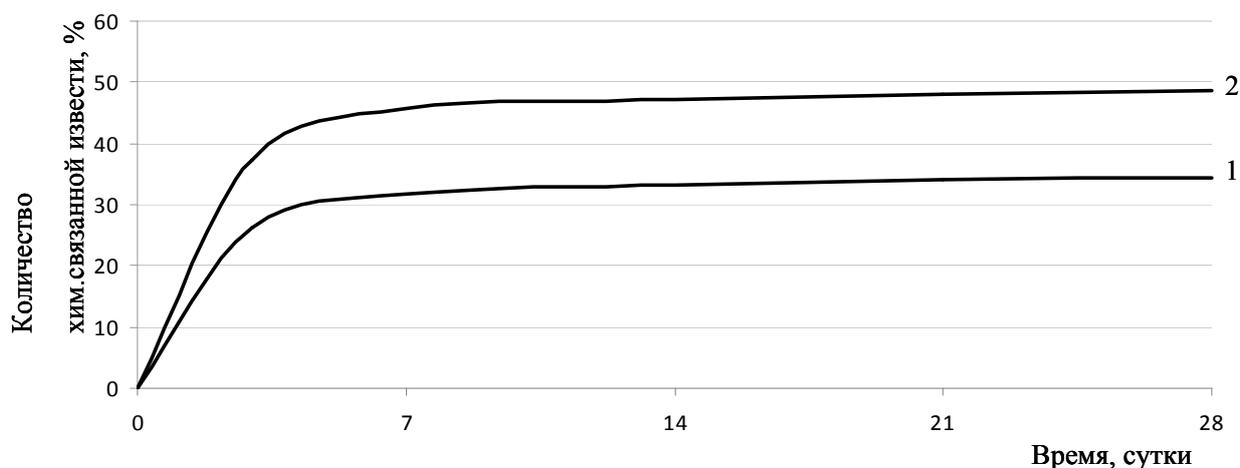


Рис. 3.5. Изменение химически связанной извести в процессе твердения известковых композитов:
1 – известковый композит с применением немодифицированного диатомита;
2 – известковый композит с применением модифицированного диатомита

Установлено, что составы с наполнителем на основе модифицированного диатомита характеризуются большим количеством связанной извести. Уже в возрасте 7 суток твердения количество химически связанной извести составляет 45,76 %, а в контрольном составе – 31,74 %, в возрасте 28 суток соответственно 48,5 % и 34,5 %.

Полученные результаты нашли также дополнительное подтверждение при термографическом анализе композитов.

В составах известкового композита с применением диатомита, обработанного золев кремниевой кислоты, эндотермический эффект, сопровождающийся потерей массы до 3,13 %, происходит при нагреве до температур 114,6 °С и обуславливается удалением свободной воды (рис. 3.6, а). Эндотермический эффект при температуре 420,4...423,1 °С связан с удалением химически связанной воды. Температура дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 479,8 °С свидетельствует о более крупнокристаллических частицах портландита. В составах на основе диатомита, активированного кремнеземом, исчезает ступенчатый эндоэффект, присутствующий в контрольных образцах. Также по полученным данным ДТА можно идентифицировать разложение CaCO_3 – небольшой эндоэффект (885...887 °С), дальнейшую дегидратацию гидросиликатов кальция C-S-H – 692,3...689,1 °С. Дополнительный эндоэффект при температуре 650 °С, отсутствующий на термограмме контрольных образцах, связан с дегидратацией гидросиликатов кальция C-S-H, что свидетельствует об их большем содержании в известковом композите с применением диатомита, активированного кремнеземом. Общая потеря массы контрольных образцов составляет 20 %, а образцов с применением диатомита, активированного золев кремниевой кислоты, – 17,5 %. Значительное увеличение эндоэффекта в области до 114,6 °С, характеризующегося удалением адсорбционной влаги и потерей воды гелевидной составляющей, свидетельствует о значительном увеличении фаз, находящихся в коллоидном состоянии. В составах на основе неактивированного диатомита наблюдается смещение температуры до 125 °С, при этом количество свободной воды составляет 1,89 % (рис. 3.6, б). Эндоэффект в интервале температур 420,4...423,1 °С соответствует разложению гидроксида кальция, при этом в контрольных образцах потеря массы составляет 4,33 %, в составах на основе активированного золев кремниевой кислоты диатомита – 1,38 %. Полученные данные свидетельствуют о меньшем содержании гидроксида кальция, что подтверждается также данными РФА.

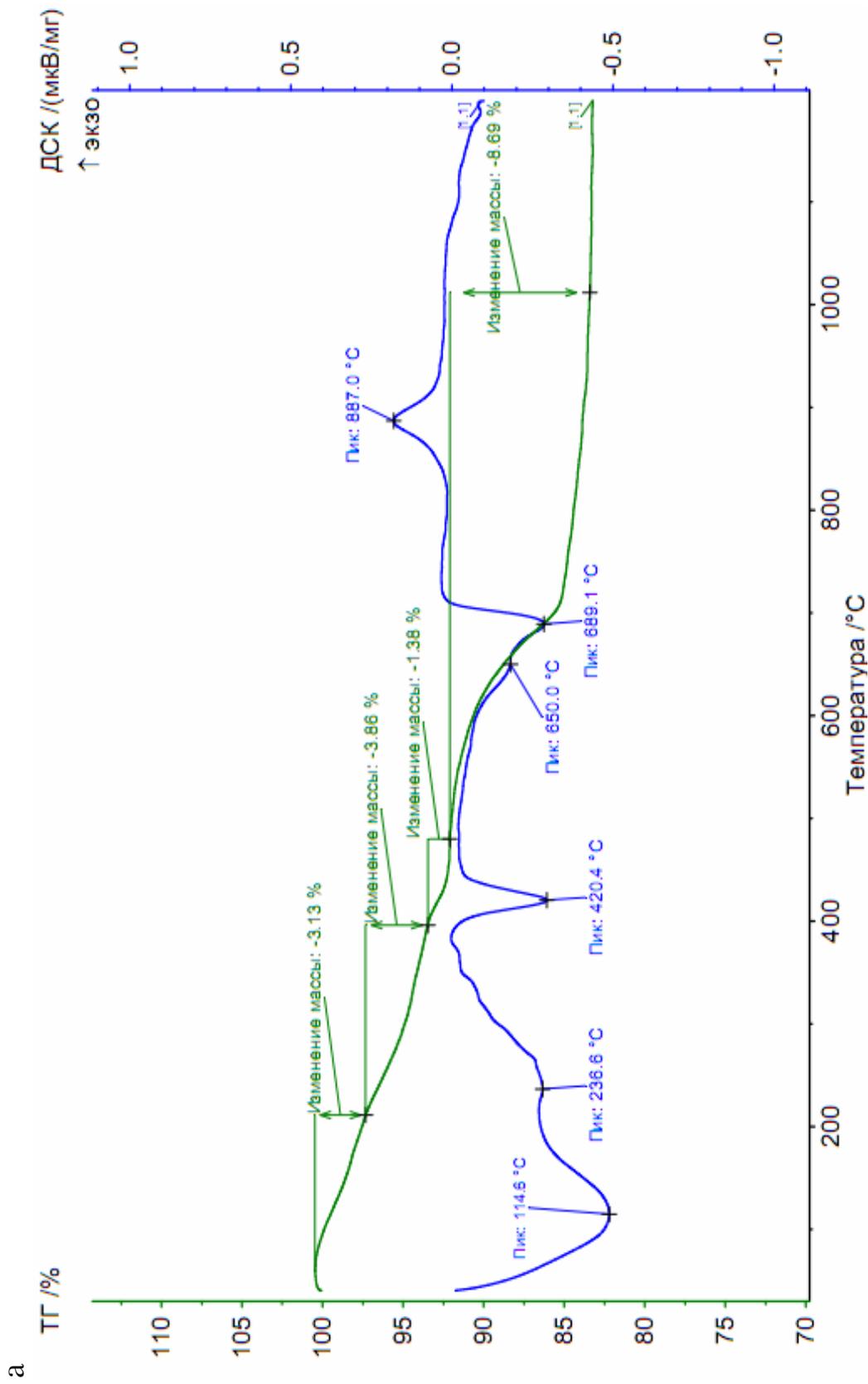


Рис. 3.6. Термограммы извлекново-диатомитового композита (начало):
а – диатомит, обработанный золе кремниевой кислоты

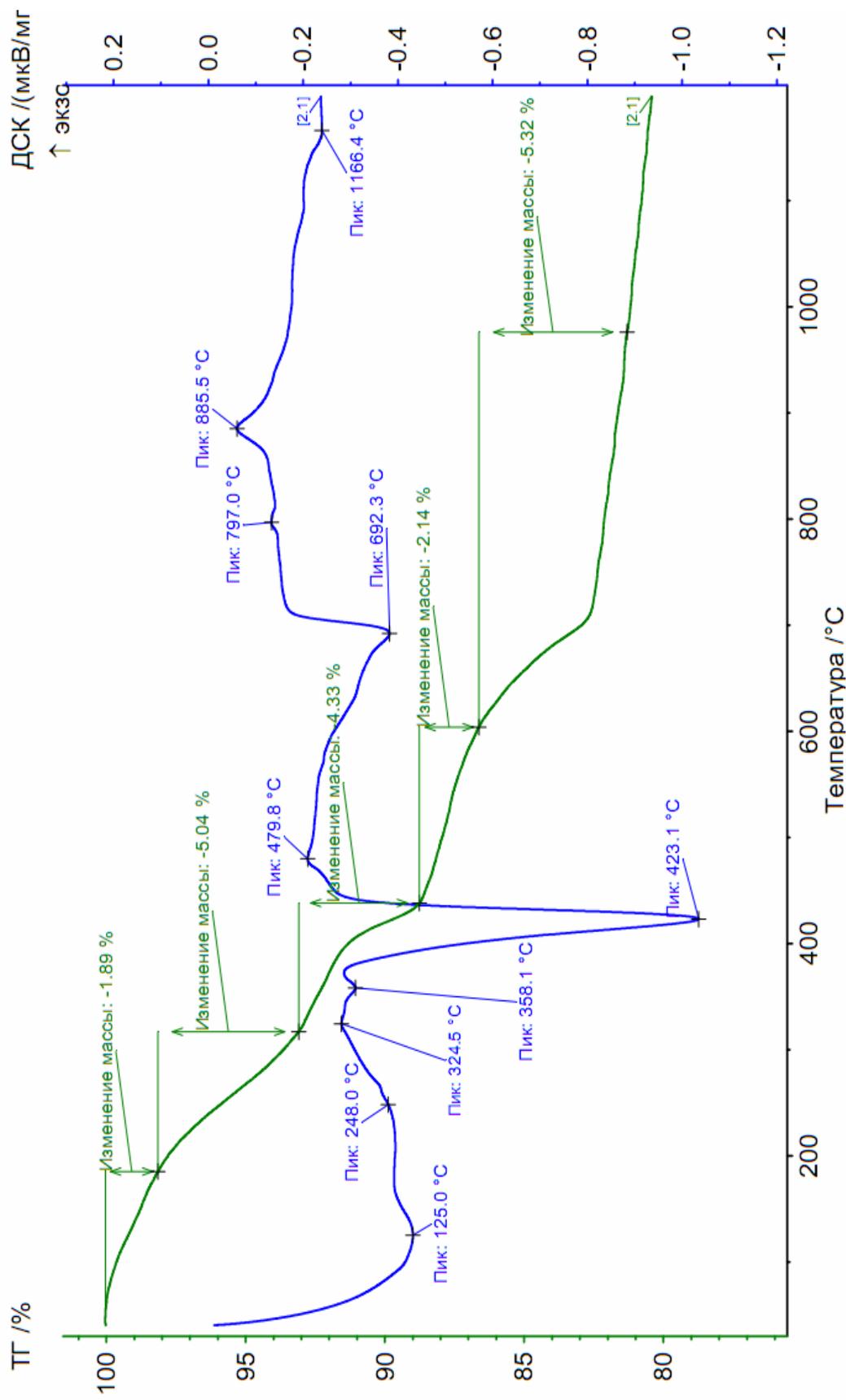


Рис. 3.6. Термограммы известково-диатомитового композита (окончание):
6 – неактивированный диатомит

На рис. 3.7 приведены фотографии структуры известково-диатомитового композита. Структура известково-диатомитового образца с применением активированного диатомита является более однородной с равномерно распределенными порами (рис. 3.7, а). Кроме того, для оценки структуры композита определяли объем открытых пор. Установлено, что содержание открытых пор в известково-диатомитовом композите с использованием модифицированного диатомита составляет 49,9 %, в то время как с применением немодифицированного диатомита – 52,1 %.

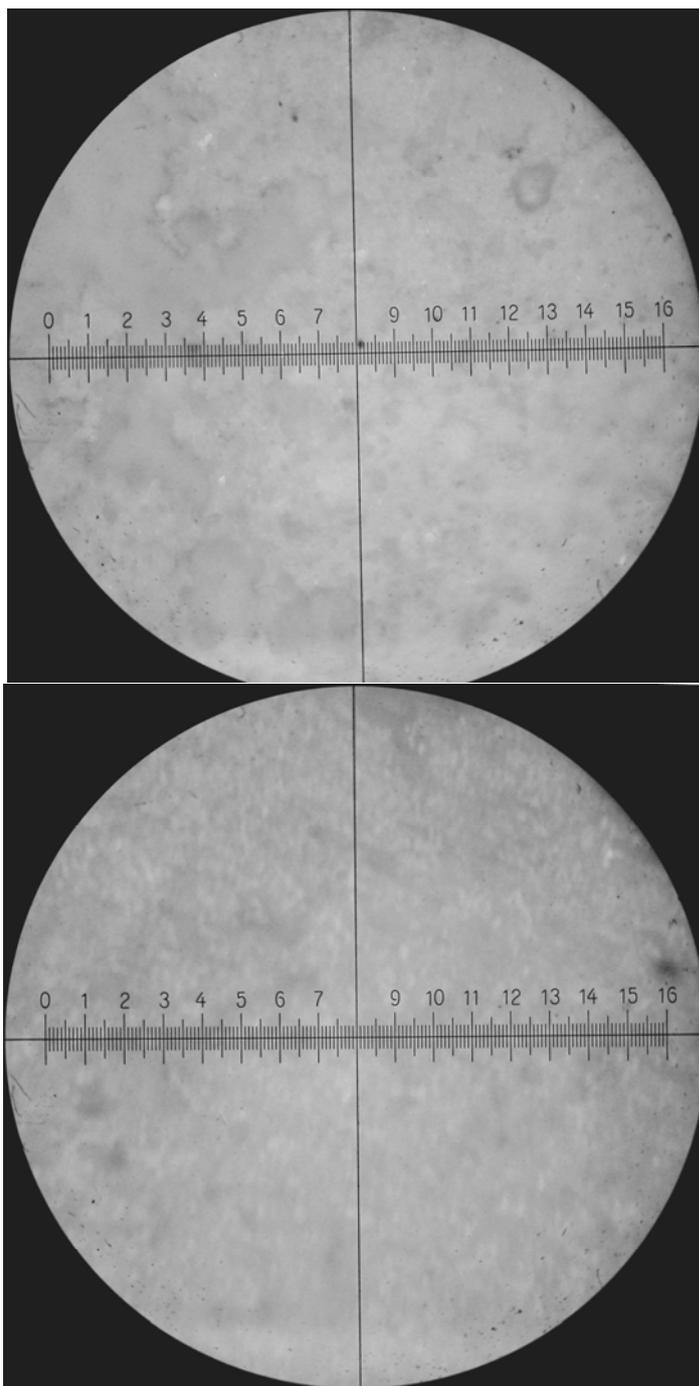


Рис. 3.7. Структура известково диатомитового композита x200:
а – контрольный состав; б – состав на активированном золе диатомите

3.2. Реологические и технологические свойства известково-диатомитовых смесей

Использование активированного диатомита в составах сухих строительных смесей способствует изменению их реологических свойств. На (рис. 3.8) приведены данные кинетики пластической прочности известково-диатомитовых композитов. Составы на основе диатомита, активированного золев кремниевой кислоты, имеют более быстрый набор пластической прочности. Пластическая прочность известково-диатомитового состава с применением диатомита, активированного золев кремниевой кислоты в соотношении 1:1,5, в возрасте 10 ч с момента затворения составляет $0,5 \text{ кг/см}^2$, в то время как с применением неактивированного диатомита – $0,22 \text{ кг/см}^2$. Рост пластической прочности обусловлен увеличенным количеством в диатомите аморфного кремнезема, взаимодействующим с известковым вяжущим.

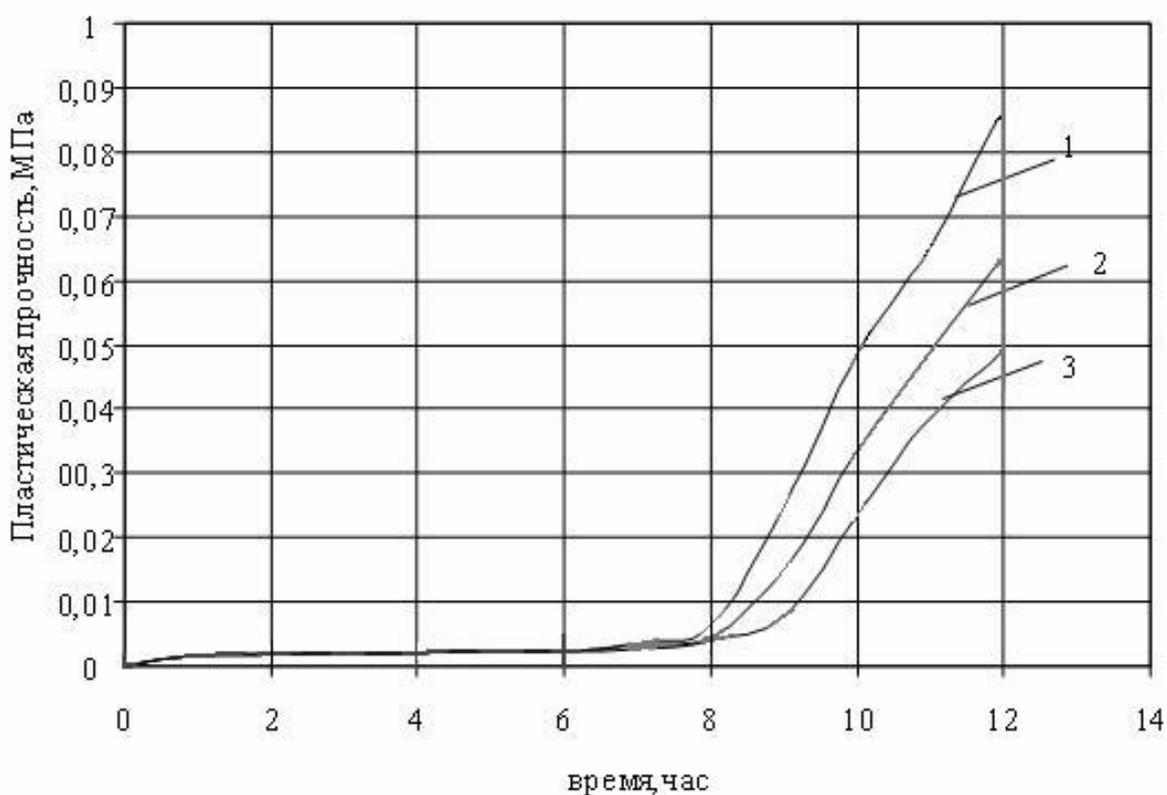


Рис. 3.8. Пластическая прочность известково-диатомитовых составов:
1 – диатомит, активированный кремнезолью в соотношении 1:1,5;
2 – диатомит, активированный кремнезолью в соотношении 1:1,1;
3 – контрольный состав (без активации)

Для регулирования реологических свойств составов применяли пластификаторы: Хидетал-ГП-9, Melflux 1641F, С-3, Melment F15Si, Кратосол ПЛ, СП-3, Кратосол, Кратосол ПФМ.

Реологические свойства определяли по показателю расплыва цилиндра. В табл. 3.6 приведены значения диаметра расплыва цилиндра известково-диатомитовых составов при введении в рецептуру различных добавок.

Т а б л и ц а 3 . 6

Реологические свойства известково-диатомитовых композиций

№ п/п	Состав	Вид добавки	Содержание добавки, % от массы вяжущего	Водоизвестковое отношение, В/И	Расплав цилиндра, мм	Водоредуцирующий эффект V_d
1	И:Д=1:4	–	–	6,66	25	–
2	И:Д=1:4	С–3	0,7	6,66/4,96*	30/25*	1,34
3	И:Д=1:4	Melment F 15Ci	1,0	6,66/4,43	32/25	1,5
4	И:Д=1:4	Кратосол. ПФМ	0,8	6,66/5,13	28/25	1,3
5	И:Д=1:4	Melflux 1641 F	1,0	6,66/3,93	35/25	1,7
6	И:МД=1:4	–	–	6,66/6,33	26/25	1,05
7	И:МД=1:4	С–3	0,7	6,66/4,87	32/25	1,37
8	И:МД=1:4	Melment F 15Ci	1,0	6,66/4,33	34/25	1,54
9	И:МД=1:4	Кратосол. ПФМ	0,8	6,66/5,033	30/25	1,32
10	И:МД=1:4	Melflux 1641 F	1,0	6,66/3,83	37/25	1,74

П р и м е ч а н и е :

*Над чертой приведены значения диаметра расплыва цилиндра (мм) при водоизвестковом отношении, равном В/И = 6,66, под чертой – значения диаметра расплыва цилиндра 25 мм с учетом водоредуцирующего коэффициента.

**Под чертой приведены значения водоизвесткового отношения при диаметре расплыва цилиндра 25 мм.

Установлено, что известково-диатомитовые составы на модифицированном диатомите обладают несколько большим пластифицирующим эффектом по сравнению с контрольным составом (без модифика-

ции диатомита). Так, при постоянном диаметре расплыве цилиндра, равном 25 мм, водоизвестковое отношение контрольных составов составляет В/И= 6,66, а с применением модифицированного диатомита – В/И=6,33. Значение водоредуцирующего эффекта при введении добавки Melflux 1641 F в составы на основе модифицирующего диатомита составляет 1,74, а в составы с применением немодифицированного диатомита – 1,7. Очевидно, более высокие пластичные свойства составов связано с гидрофилизацией поверхности модифицированного диатомита.

Анализ данных, приведенных в табл. 3.6, свидетельствует, что наибольший пластифицирующий эффект характерен при введении добавки Melflux1641 F, диаметр расплыва цилиндра при применении добавки Melflux1641 F составляет 35–37 мм. Значение водоредуцирующего эффекта при применении добавок Melflux 1641 F, Кратосол ПФМ, С-3, Melment F 15Сi, составляет соответственно 1,7–1,74; 1,3–1,32; 1,34–1,37; 1,5–1,54.

Учитывая незначительную прочность известково-диатомитовых композиций, составляющую $R_{сж} = 1,06...1,8$ МПа, в дальнейшем при разработке рецептуры в состав вводили также цемент в количестве 10 % от массы извести. В работе применяли белый цемент марки 400 Щуровского завода. Добавка цемента вводилась в количестве 10 % от массы извести.

Установлено, что в возрасте 14 ч твердения пластическая прочность состава с добавлением 10 % цемента от массы извести составляет 0,075 МПа (рис. 3.9, кривая 1), в то время как известково-диатомитовых составов – 0,054 МПа (рис. 3.8, кривая 3). Введение в известковые составы пластифицирующих добавок замедляет процесс твердения. В возрасте 14 ч твердения пластическая прочность состава с добавлением 10 % цемента от массы извести и добавки С-3, составляет 0,05 МПа. Наибольшим пластифицирующим эффектом для известково-диатомитовых составов с добавкой цемента обладают добавки Melflux 1641 F и Melment F 15Сi, пластическая прочность составляет соответственно – 0,029 МПа (рис. 3.7, кривая 5) и 0,04 МПа (рис. 3.9, кривая 4).

Модификация диатомита золев кремниевой кислоты ускоряет твердение известковых составов, пластическая прочность в возрасте 14 ч составляет 0,06 МПа (рис. 3.8, кривая 1).

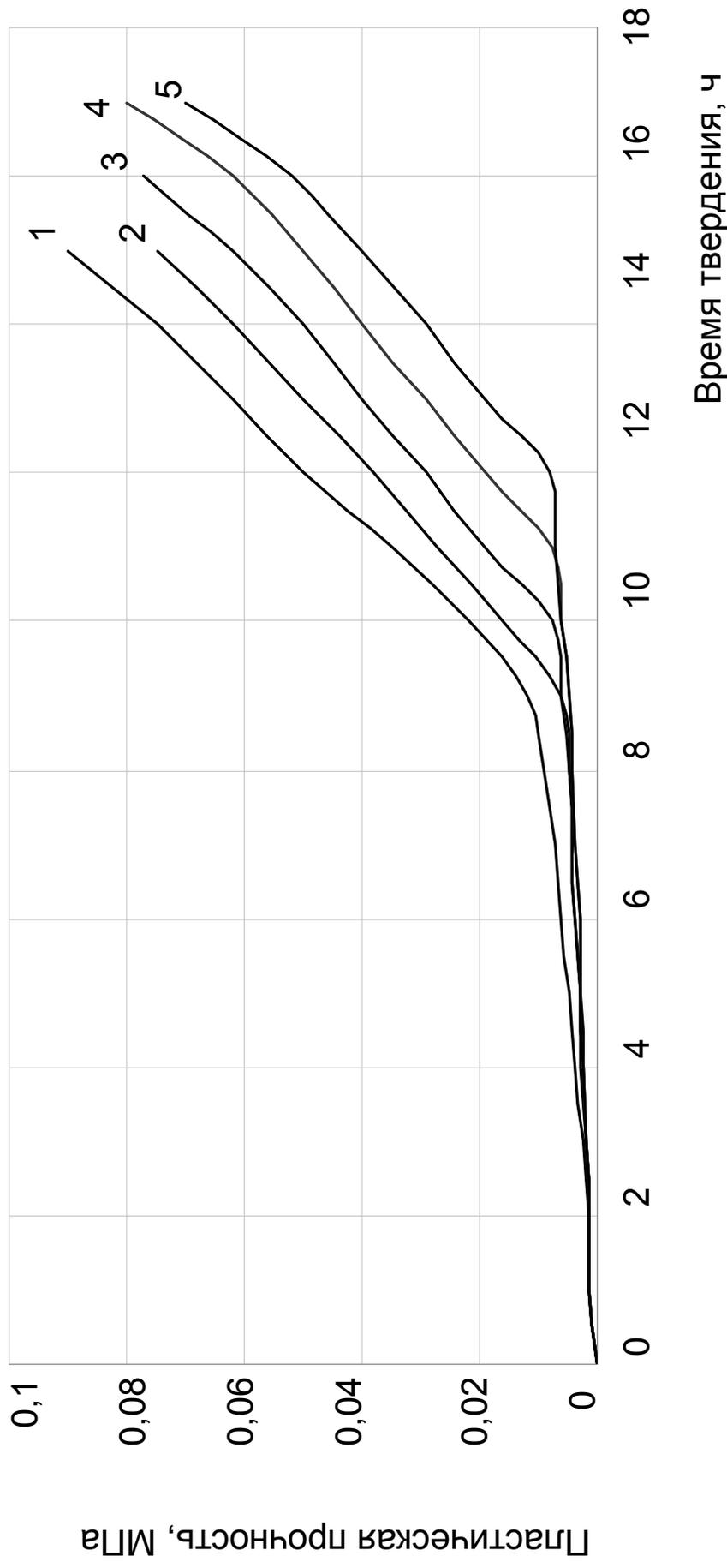


Рис. 3.7. Пластическая прочность известково-диатомитовых составов:

- 1 – состав содержит И:Ц:Д=1:0,1:4, диатомит не модифицирован;
- 2 – состав содержит И:Ц:Д=1:0,1:4, добавку Кратасол ПФМ, диатомит не модифицирован;
- 3 – состав содержит И:Ц:Д=1:0,1:4, добавку С-3, диатомит не модифицирован;
- 4 – состав содержит И:Ц:Д=1:0,1:4, добавку Melment F 15Si, диатомит не модифицирован;
- 5 – состав содержит И:Ц:Д=1:0,1:4, добавку Melflux 1641 F, диатомит не модифицирован

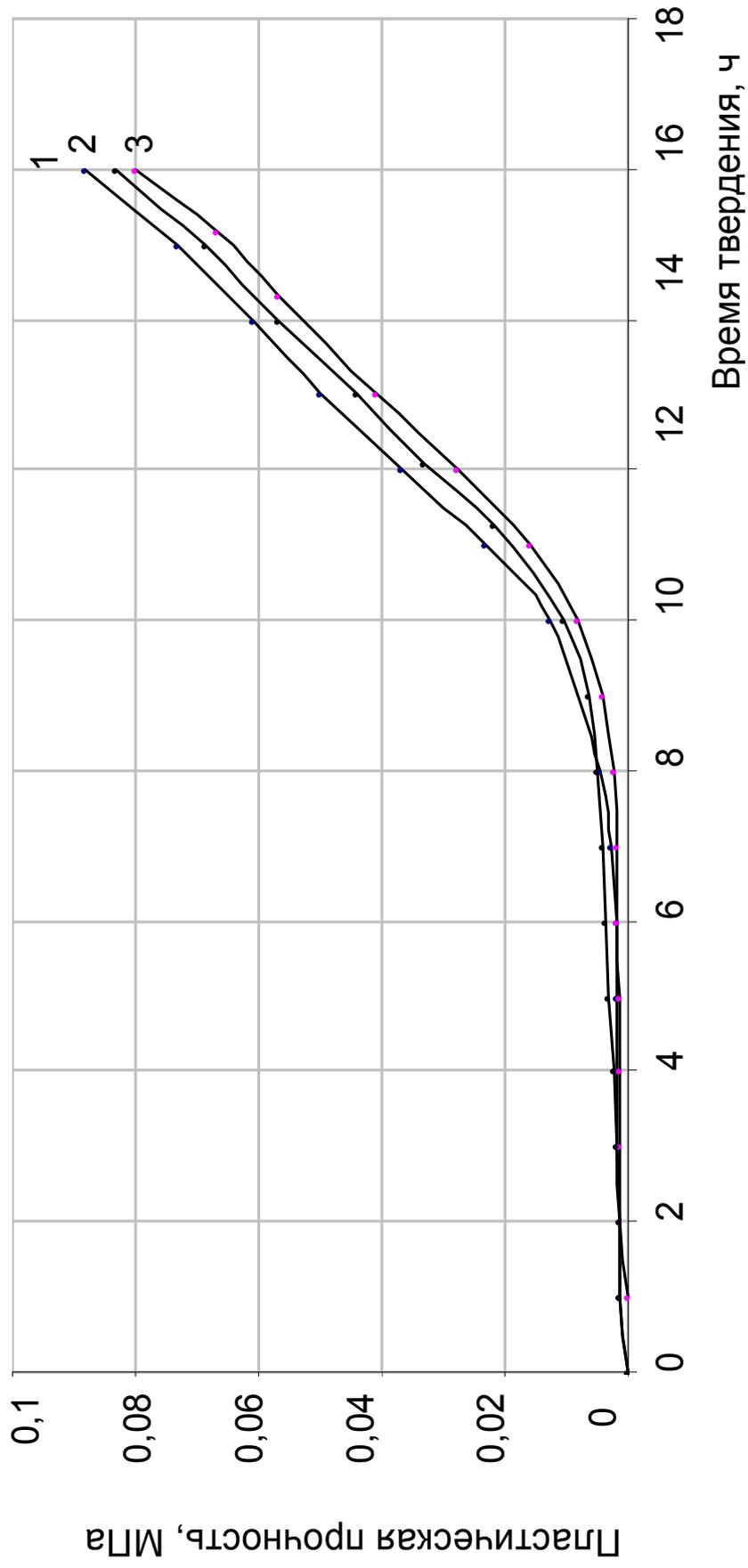


Рис. 3.8. Пластическая прочность известково-диатомитовых составов:

- 1 – состав содержит И:Д=1:4, диатомит модифицирован;
- 2 – состав содержит И:Д=1:0,1:4, добавку С-3 (диатомит модифицирован);
- 3 – состав содержит И:Д=1:4, диатомит не модифицирован

Одним из регламентированных нормативными документами свойств сухих строительных смесей, готовых к применению, является водоудерживающая способность, которая должна составлять не менее 95 % [23, 24]. В связи с этим в работе оценивалась водоудерживающая способность известковых композиций. При разработке рецептуры в состав вводились модифицирующие добавки Mecellose FMC 2094 и КМЦ марки 75/400.

В табл. 3.7 приведены значения водоудерживающей способности известково-диатомитовых композиций.

Т а б л и ц а 3.7

Водоудерживающая способность известковых растворных смесей

Состав	Вид добавки	Количество добавки, %, от массы извести	Водоудерживающая способность, %
И:Д=1:4, В/И=6,0	–	–	89,7
И:Д:Ц=1:4:0,1, В/И=6,0	–	–	91
И:Д:Ц=1:4:0,1, В/И=6,0	Mecellose FMC 2094	0,1	97
И:Д:Ц=1:4:0,1, В/И=6,0	КМЦ 75/400	0,1	97
И:МД:Ц=1:4:0,1, В/И=6,0	–	–	92
И:МД:Ц=1:4:0,1, В/И=6,0	С-3	0,7	96

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что известковые составы с добавкой цемента и С-3 в количестве 0,7 % от массы извести обладают достаточной водоудерживающей способностью, составляющей 96 %. В связи с этим отсутствует необходимость введения в рецептуру добавок Mecellose или КМЦ, что приводит к снижению стоимости составов.

Введение добавок в рецептуру смеси позволило регулировать процесс высыхания отделочного слоя. Время высыхания определяли в соответствии с ГОСТ 19007–73*. Метод заключается в определении времени, в течение которого выравнивающий слой превращается в слой с требуемой степенью высыхания. Оценка степени высыхания производилась по семибальной шкале. Метод основан на способности покрытий, в зависимости от степени отверждения, удерживать на своей поверхности стеклянные шарики или бумагу при заданной нагрузке, и

заключается в определении времени, в течение которого отделочный слой превращается в слой с требуемой степенью высыхания .

Исследования проводились на поверхности цементно-песчаного раствора. С целью регулирования времени высыхания отделочного слоя в рецептуру смеси вводили добавки С-3, и RHOXIMAT PAV 29. Исследования проводились при водотвердом отношении, равном $V/T = 1,1$. Экспериментальные данные приведены в табл.3.8.

Установлено, что введение в рецептуру смеси суперпластификатора С-3 в количестве 1,5 % от массы сухих компонентов продлевает время высыхания отделочного слоя до 43 минут. Модификация смеси редиспергируемым сополимерным порошком RHOXIMAT PAV 29 способствовала значительному увеличению пластичности смеси, и как следствие замедлению высыхания отделочного слоя. Так, при содержании редиспергируемой добавки в количестве 0,5 % от массы сухой смеси время высыхания до степени 5 составило 30 минут, а при содержании 3 % – 39 минут.

Таблица 3.8

Влияние добавок на степень высыхания
известково-диатомитовых композиций

Вид добавки	Содержание добавки, %	Предельное напряжение сдвига, МПа	Степень высыхания, мин			
			2	3	4	5
–	–	0,0092	14	22	23	28
С-3	0,5	0,0048	15	28	28	36
	1	0,0040	15	29	29	38
	1,5	0,0033	15	30	30	43
RHOXIMAT PAV29	0,5	–	15	23	25	30
	3	–	18	31	33	39

Время высыхания контрольного состава до степени 5 составило 28 минут.

4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

4.1. Эксплуатационная стойкость покрытий на основе ССС

Проведенные исследования показали, что покрытия на основе диатомита характеризуются склонностью к трещинообразованию. Для оценки трещинообразования исследовали напряженное состояние отделочного покрытия с помощью автоматического измерителя деформаций АИД-4 по следующей методике. На диск из алюминиевой фольги диаметром 120 мм и толщиной 0,015 мм наносили отделочные составы толщиной 2 мм. На свободной стороне диска наклеивался тензодатчик с базой 20 мм, показания которого фиксировались автоматическим измерителем деформаций АИД-4. Величина напряжений определялась по формуле:

$$\sigma_0 = 2 \cdot \frac{(1 - \mu_1) \cdot h_2}{h_1} \cdot E \cdot \varepsilon, \quad (4.1)$$

где μ_1 – коэффициент Пуассона;

h_1 – толщина отделочного слоя, м;

h_2 – толщина подложки, м;

E – модуль упругости подложки, МПа;

ε – относительная деформация подложки.

На рис. 4.1 приведены кривые изменения внутренних напряжений в процессе отверждения отделочного слоя.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что в покрытии на основе термически обработанного диатомита зафиксированы наибольшие значения внутренних напряжений, максимальная величина которых составила 0,014 МПа, в то время как на основе контрольного состава – 0,0118 МПа. Это, очевидно, объясняется тем, что термическая активация диатомита ускоряет процесс раннего структурообразования покрытия и способствует значительному увеличению прочностных характеристик отделочного состава в начальный период твердения и, как следствие, повышению адгезии к основанию.

Установлено, что максимальные значения внутренних напряжений отмечались в промежутке времени 3–4 часа после нанесения составов на поверхность с последующей релаксацией внутренних напряжений, которые стабилизировались к 28–36 часам.

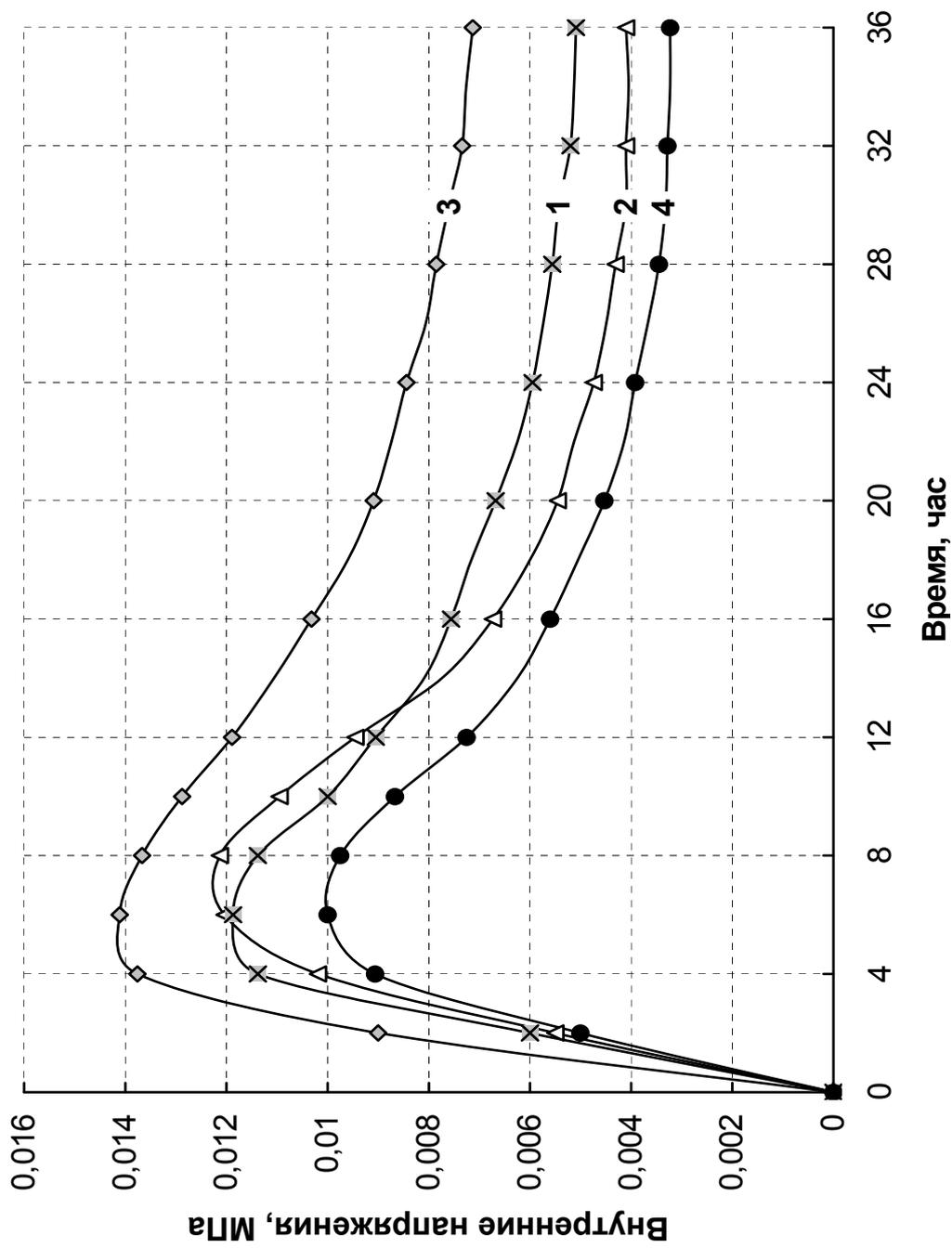


Рис. 4.1. Изменение внутренних напряжений в процессе твердения отделочного слоя:
 1 – контрольный состав (известь:диатомит 1:3); 2 – то же, с добавкой С-3;
 3 – то же, диатомит, термически обработанный при температуре $t=700\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 4 – то же + Phoximat PAV 29 в количестве 0,5% от массы сухой смеси

Использование в составе сухой смеси добавки С-3 способствовало замедлению процесса нарастания внутренних напряжений, наибольшая величина которых зафиксирована в период 6 часов с момента нанесения состава на поверхность и составила 0,012 МПа, что несколько превышает значения контрольного состава. Релаксация внутренних напряжений в таком составе наступила спустя 7 часов отверждения, и остаточные внутренние напряжения равны 0,0042 МПа. Остаточные напряжения контрольного состава – 0,0031 МПа.

В композиции, рецептура которой содержала редиспергируемую добавку (кривая 5), зафиксированы наименьшие внутренние напряжения, максимальные значения которых составили $\sigma_{\max} = 0,095$ МПа. Повышение пластичности состава, содержащего Phoximat PAV 29, способствовало наибольшему развитию релаксационных процессов. Стабилизация внутренних напряжений наступила через 28 часов твердения, остаточные напряжения составили 0,0032 МПа.

Трещиностойкость материала определяли отношением предела прочности на растяжение при изгибе к пределу прочности при сжатии. Для повышения когезионной и адгезионной прочности покрытий на основе ССС в рецептуру вводились добавки Neolith 4400, Neolith 7200, Pulver DM1142P. В табл. 4.1. приведены значения прочности при сжатии известково-диатомитовых композитов при различном содержании добавки Neolith 4400, Neolith 7200, Pulver DM1142P.

Т а б л и ц а 4 . 1

Прочность при сжатии с применением модифицирующих добавок

Вид добав-ки*	Содержание добавки, %, от массы сухой смеси	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
		7	14	28
1	2	3	4	5
Neolith 4400	0,025	0,96	1,32	1,76
Neolith 4400	0,05	0,96	1,44	1,8
Neolith 4400	0,15	1,2	1,5	2
Neolith 4400	0,35	1,44	1,68	2,24
Neolith 4400	0,5	1,68	1,92	2,48
Neolith 4400	0,75	1,92	2,04	2,78
Neolith 4400	1	1,9	2,16	2,8
Neolith 7200	0,025	1,68	1,75	2,42
Neolith 7200	0,05	1,7	1,8	2,5

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5
Neolith 7200	0,15	1,8	1,9	2,6
Neolith 7200	0,35	2,04	2,16	2,84
Neolith 7200	0,5	2,16	2,26	2,98
Neolith 7200	0,75	2,28	2,38	3,1
Neolith 7200	1	2,3	2,4	3,12
Pulver DM1142P	0,05	0,96	1,4	1,78
Pulver DM1142P	0,5	1,32	1,6	2,12
*	–	1,3	1,5	1,8
**	–	3,12	3,36	3,92
** Neolith 7200	0,75	3,4	3,7	4,1

Примечание:

- * Состав ССС (диатомит:известь:цемент= 4:1:0,1,В/И=6).
- ** Состав ССС (модифицированный диатомит:известь:цемент= 4:1:0,1, В/И=6).

Анализ данных свидетельствует, что наибольшее влияние на показатели прочности при сжатии оказывает добавка Neolith 7200. При содержании добавки 0,75 % от массы сухой смеси прочность при сжатии в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения составляет $R_{сж} = 3,1$ МПа. При увеличении содержания добавки до 1 % увеличение прочности составляет всего лишь 1 %. В связи с этим в дальнейшем содержание добавки составляло 0,75 %. По отношению к контрольному составу применение добавки Neolith 7200 в рецептурах ССС в количестве 0,75 % от сухой смеси увеличивает прочность композита в 1,5 раза.

Для оценки трещиностойкости дополнительно исследовали усадочные деформации в процессе твердения отделочных составов. Измерение усадочных деформаций проводилось на образцах-балочках размерами 4×4×16 см при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха $W_{отн} = 50...55$ %. Деформации усадки измеряли с помощью оптического компаратора ИЗВ-2.

Для уменьшения усадочных деформаций покрытий в рецептуру ССС дополнительно вводились добавка Denka SC1 в количестве 1 % от массы вяжущего и в качестве мелкого заполнителя использовали

сурский кварцевый песок фракций 0,63...0,315 мм и 0,315...0,14 мм в соотношении 80:20. Плотность песка составляла $\rho_{\text{нас}} = 1527 \text{ кг/м}^3$. Результаты измерения усадочных деформаций приведены в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2

Значения усадочных деформаций

Вид и содержание добавки	Водоизвестковое отношение, В/И	Усадочные деформации, мм/м
– (контрольный состав)*	6	2,30
С-3,(2 %)	5	1,10
Denka SC1 (1 %)	6	0,63
С-3(2 %)+Denka SC1 (1 %)	5	0,42
Neolith 7200 (0,75 %)	6	1,90
Neolith 4400 (0,75 %)	6	2,00
С-3+Neolith 7200(0,75 %)	5	1,00
С-3(2 %)+Denka SC1 (1 %)+ Neolith 7200 (0,75 %)	5	0,35

П р и м е ч а н и е . *Состав ССС (модифицированный диатомит:известь:цемент :песок = 4:1:0,1: 2,5:В/И=6).

Анализ данных, приведенных в табл. 4.2, показал, что образцы с добавкой С-3 показали меньшую усадку по сравнению с контрольными образцами как в начальный период твердения, так и при стабилизации усадочных деформаций. Усадочные деформации контрольного состава в возрасте 28 суток составили $\epsilon = 2,3 \text{ мм/м}$, в то время как состав, содержащий 2 % С-3, имел усадку $\epsilon = 1,1 \text{ мм/м}$. Совместное использование добавок С-3, Denka SC1 и Neolith 7200 приводит к значительному снижению усадочных деформаций, составляющих $\epsilon = 0,35 \text{ мм/м}$.

Дополнительно трещиностойкость покрытий оценивалось по показателю коэффициента трещиностойкости $K_{\text{трещ}}$, который определялся как отношение прочности при изгибе к прочности при сжатии

$K_{\text{трещ}} = \frac{R_{\text{изг}}}{R_{\text{сж}}}$. В табл. 4.3 приведены значения коэффициента трещиностойкости $K_{\text{трещ}}$.

Таблица 4.3
Значения коэффициента трещиностойкости

Вид и содержание добавки(% от массы вяжущего)	Водоизвестковое отношение, В/И	Коэффициент трещиностойкости $K_{\text{трещ}}$
– (контрольный состав)*	6	0,16
С-3, (2 %)	5	0,24
Denka (1 %)	6	0,27
С-3 (2 %) + Denka SC1 (1 %)	5	0,34
Neolith 7200 (0,75 %)	6	0,25
Neolith 4400 (0,75 %)	6	0,25
С-3 + Neolith 7200 (0,75 %)	5	0,32
С3(2 %) + Denka SC1 (1 %) + Neolith 7200 (0,75 %)	5	0,44

Примечание. *Состав ССС (модифицированный диатомит:известь:цемент :песок = 4:1:0,1: 2,5:В/И=6).

Выявлено, что контрольный состав на основе диатомита характеризуется низким значением коэффициента трещиностойкости, составляющим $K_{\text{трещ}} = 0,16$. При введении в рецептуру добавок Denka SC1, Neolith 7200 и С-3 коэффициент трещиностойкости повышается и составляет $K_{\text{трещ}} = 0,44$.

Одним из важнейших свойств, определяющих эксплуатационную стойкость, является морозостойкость. Оценка морозостойкости отделочного слоя проводилась в соответствии с ГОСТ 10060.1–95. В процессе испытания оценивали визуально качество внешнего вида покрытий в соответствии с ГОСТ 6992–68 «Материалы лакокрасочные. Метод определения устойчивости покрытия в атмосферных условиях». За «отказ» принималось состояние покрытия, оцененное III.4 баллами. Такое состояние характеризуется значительным изменением цвета,

потерей блеска до 50 %, значительной белесоватостью, растрескиванием до 25 % поверхности, наличием пузырей до 5 % поверхности, сыпи до 50 %, мелением. В табл. 4.4 приведена оценка качества защитно-декоративного покрытия в процессе испытания на морозостойкость.

Таблица 4.4

Оценка качества внешнего вида покрытия в процессе испытаний

Вид и содержание добавки	Количество циклов	Баллы
1	2	3
– (контрольный состав*)	До испытания	V. 8
	1	V. 8
	8	V. 7
	12	V. 6
	14	V. 5
	16	IV. 5
	20	III.4
С-3 (2 %)	До испытания	V. 8
	1	V. 8
	9	V. 7
	14	V. 6
	17	IV. 5
	20	IV. 4
	23	III.4
Denka SC1 (1 %)	До испытания	V. 8
	1	V, 8
	11	V. 7
	17	V. 6
	20	IV. 5
	22	IV. 4
	25	III.4
С-3(2 %)+Denka SC1 (1 %)	До испытания	V. 8
	1	V. 8
	14	V. 7
	20	V. 6
	23	IV. 5
	27	IV. 4
	30	III.4

Окончание табл. 4.4

1	2	3
Neolith 7200 (0,75 %)	До испытания	V. 8
	1	V. 8
	8	V. 7
	12	V. 6
	14	V. 5
	17	IV. 5
	22	III,4
Neolith 4400 (0,75 %)	До испытания	V. 8
	1	V. 8
	8	V. 7
	12	V. 6
	14	V. 5
	17	IV. 5
	22	III.4
С-3+Neolith 7200 (0,75 %)	До испытания	V. 8
	1	V. 8
	11	V.7
	17	V. 6
	20	IV. 5
	22	IV. 4
	25	III.4
С3(2 %)+Denka SC1 (1 %)+ Neolith 7200 (0,75 %)	До испытания	V. 8
	1	V. 8
	14	V. 7
	23	V. 6
	27	IV. 5
	31	IV. 4
	35	III.4

Примечание. *Состав ССС (модифицированный диатомит:известь:цемент песок.= 4:1:0,1: 2,5:В/И=6).

Выявлено, что «отказ» отделочного слоя на основе контрольного состава ССС наступает спустя 20 циклов. Состояние отказа отделочного слоя на основе модифицированного диатомита с добавками С3, Denka, Neolith наступает после 35 циклов испытания.

Известково-диатомитовые композиции являются гидрофильными материалами, поэтому особенности взаимодействия с влагой при пребывании их в воздушно-влажной среде или непосредственном контакте с водой изменяются физико-механические свойства материала.

Для определения сорбции водяного пара фиксировалось увеличение массы образцов известково-диатомитовых составов, предварительно высушенных в сушильном шкафу при температуре $t = 105...1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы, хранящихся в эксикаторах при относительной влажности воздуха 25–96 % и постоянной температуре $t = 20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что при постоянной температуре с увеличением относительной влажности воздуха закономерно возросла сорбционная влажность составов, при этом процесс насыщения образцов влагой описан S-образными изотермами сорбции, характерными для капиллярно-пористых материалов, хорошо смачиваемых водой. Так, например, при относительной влажности воздуха 75 % сорбционное увлажнение контрольных образцов составило 5,4 %. Наибольшее влагосодержание зафиксировано при относительной влажности воздуха 96 % и составило: для контрольного состава $W = 7,87\text{ }%$; для состава с добавкой С-3 – 6,84 %.

В табл. 4.5 приведены значения водопоглощения известково-диатомитового композита с добавкой цемента и модифицирующих добавок.

Т а б л и ц а 4.5

Значения водопоглощения известково-диатомитового композита

Вид и содержание добавки	Водоизвестковое отношение, В/И	Водопоглощение, %
– (контрольный состав)*	6	30
С-3,(2 %)	5	20
Denka SC1 (1 %)	6	22
С-3(2 %)+Denka SC1 (1 %)	5	14
Neolith 7200 (0,75 %)	6	25
Neolith 4400 (0,75 %)	6	27
С-3+Neolith 7200	5	19
С3(2 %)+Denka SC1 (1 %)+ Neolith 7200 (0,75 %)	5	13,8

Примечание. *Состав ССС (диатомит:известь:цемент песок.= 4:1:0,1:2,5:В/И=6).

Анализ данных, приведенных в табл. 4.5, свидетельствует, что совместное применение добавок Neolith 7200, Denka SC1 и С-3 в рецептуре с применением модифицированного диатомита приводит к значительному снижению водопоглощения отделочного слоя до 13,8 %.

В табл. 4.6 приведены значения коэффициента капиллярного водопоглощения, определенного в соответствии с DIN 52617.

Т а б л и ц а 4 . 6

Значения водопоглощения при капиллярном всасывании (DIN 52617)

Состав	Коэффициент капиллярного водопоглощения, кг/(м ² ·ч ^{0,5})
Диатомит: Известь (Д:И=4:1)	0,998
Модифицированный Диатомит:Известь (МД:И=4:1)	0,97
Диатомит:Известь:Цемент (Д:И:Ц = 4:1:0,1)	0,96
Модифицированный Диатомит:Известь: Цемент (МД:И:Ц = 4:1:0,1)	0,94
Диатомит : Известь: Цемент: Песок (Д:И:Ц = 4:1:0,1:2,5)	0,95
Модифицированный Диатомит: Известь: Цемент:Песок (МД:И:Ц=4:1:0,1:2,5)	0,93
Диатомит: Известь (Д:И=4:1), Neolith 7200 (0,75 %)	0,93
Модифицированный Диатомит: Известь(Д:И=4:1), Neolith 7200 (0,75 %)	0,91

Результаты испытания свидетельствуют, коэффициент капиллярного водопоглощения известково-диатомитовых составов на основе модифицированного диатомита ниже, чем у составов с использованием немодифицированного диатомита. Применение в составах модифицирующих добавок способствует уменьшению коэффициента водопоглощения до 0,91–0,93 кг/(м²·ч^{0,5}). В соответствии с DIN 52617 составы на основе модифицированного диатомита являются водоудерживающими.

С целью повышения декоративных свойств и расширения цветовой гаммы отделочных покрытий в рецептуру сухой смеси вводили пигменты. Присутствие в составе пигментов влияет на насыпную плотность, сыпучесть, склонность к агломерации сухих смесей, а так же

сказывается на механических характеристиках отделочных составов. В связи с этим нами изучено влияние органических и минеральных пигментов на прочностные характеристики известково-диатомитовых композиций. Общее содержание пигментов в порошкообразных красках колеблется в широких пределах в зависимости от цвета и назначения краски, поэтому количество вводимых пигментов варьировалось в пределах от 0,5 до 10 % от массы сухих компонентов смеси. В табл. 4.7 представлены экспериментальные значения прочности при сжатии в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения известково-диатомитовых образцов, наполненных различными пигментами.

Таблица 4.7

Влияние пигментов на прочностные характеристики
известково-диатомитовых композиций

Органические пигменты		Прочность при сжатии, МПа	Минеральные пигменты		Прочность при сжатии, МПа
Вид пигмента	Содержание пигмента, %		Вид пигмента	Содержание пигмента	
–	–	1,9	–	–	1,9
Голубой фталоциа- ниновый	0,5	1,89	Желтый железо- окисный	2	2,07
	2	1,8		5	2,23
	5	1,6		10	2,31
	10	1,4	Красный железо- окисный	2	2,06
Желтый свето-проч- ный МБ	0,5	1,97		5	1,96
	2	1,8	10	1,8	
	5	1,66	Оранжевый железо- окисный	2	2,19
	10	1,5		5	2,35
Крон оранжевый	0,5	2,05	10	2,7	
	2	1,81	Керновый голубой	2	1,99
	5	1,68		5	2,13
	10	1,3		10	2,5
Зеленый О	0,5	1,87	Керновый зеленый	2	1,97
	2	1,76		5	2,29
	5	1,65		10	2,7
	10	1,56			
Красный Ж	0,5	1,4			
	2	1,21			
	5	1,12			
	10	1,03			

Согласно экспериментальным данным, с увеличением содержания в сухой смеси органических пигментов наблюдалось снижение прочностных характеристик отделочных составов. Так, например, прочность при сжатии образцов, наполненных пигментом голубым фталоцианиновым, составила при содержании пигмента в количестве 0,5 % от массы сухих компонентов – 1,89 МПа, при содержании 2 % пигмента – 1,8 МПа, при содержании 5 % пигмента – 1,6 МПа. Увеличение содержания пигмента в смеси до 10 % от массы сухих компонентов привело к наиболее значительному снижению прочности при сжатии – до 1,4 МПа. Прочность при сжатии контрольного состава – $R_{сж} = 1,9$ МПа. Наибольшее снижение прочности при сжатии наблюдалось при введении в рецептуру смеси пигмента красного Ж.

При содержании, данного пигмента в количестве 0,5 % прочность при сжатии образцов составила – 1,4 МПа, а при содержании пигментов в количестве соответственно 2, 5 и 10 % соответственно 1,21, 1,12, и 1,03 МПа. Введение в рецептуру смеси пигментов желтого светопрочного МБ и крона оранжевого при небольшом содержании (до 0,5 %) способствовало возрастанию прочности при сжатии. Однако дальнейшее увеличение количества пигмента в смеси привело к снижению прочностных характеристик исследуемых образцов.

Введение в известково-диатомитовые сухие смеси минеральных пигментов вызывает увеличение прочности при сжатии, за исключением красного железистого пигмента. Первоначально при введении данного пигмента в количестве 2 % наблюдался рост прочности составов ($R_{сж} = 2,06$ МПа). Последующее увеличение процентного содержания пигмента в смеси вызвало снижение прочности при сжатии до 1,8 МПа.

В табл. 4.8–4.10 представлены значения свойств известково-диатомитовых покрытий с применением различных органических пигментов.

Т а б л и ц а 4 . 8

Свойства покрытий на основе ССС
с применением пигмента Yellow 1

Содержание пигмента, % от массы сухих компонентов	Прочность $R_{сж}$, МПа	Морозостойкость, циклы	Водостойкость (коэффициент размягчения)	Водопоглощение, %
1	2,7	35	0,58	14
2	2,6	35	0,58	14
5	2,5	35	0,55	14,5

Таблица 4.9

Свойства покрытий на основе ССС
с применением пигмента Blue 15:3

Содержание пигмента, % от массы сухих компонентов	Прочность $R_{сж}$, МПа	Морозостойкость, циклы	Водостойкость (коэффициент размягчения)	Водопоглощение, %
1	2,7	35	0,58	14
2	2,6	35	0,58	14
5	2,5	35	0,55	14,5

Таблица 4.10

Свойства покрытий на основе ССС
с применением пигмента Brown 3 (коричневый)

Содержание пигмента, % от массы сухих компонентов	Прочность $R_{сж}$, МПа	Морозостойкость, циклы	Водостойкость (коэффициент размягчения)	Водопоглощение, %
1	2,6	35	0,58	14
2	2,5	35	0,58	14
5	2,4	35	0,56	14

Согласно экспериментальным данным, с увеличением содержания в сухой смеси органических пигментов наблюдалось снижение прочностных характеристик отделочных составов. Так, например, прочность при сжатии образцов с использованием пигмента Blue 15:3 составила при содержании пигмента в количестве 1 % от массы сухих компонентов – 2,7 МПа, при содержании в количестве 2 % – 2,6 МПа, при содержании в количестве 5 % – 2,5 МПа. Наибольшее снижение прочности при сжатии наблюдалось при введении в рецептуру смеси пигмента Brown 3 коричневого. При содержании данного пигмента в количестве 1 % прочность при сжатии образцов составила – 2,6 МПа, а при содержании пигментов в количестве соответственно 2 %, 5 % соответственно 2,5 МПа, 2,4 МПа. Исходя из экспериментальных данных, добавка пигмента в разработанную рецептуру ССС составляет 1 %.

В соответствии с нормативными требованиями адгезия отделочных составов должна составлять не менее 0,4 МПа [23]. Для оценки адгезионной прочности разработанных отделочных составов применяли метод отрыва штампа (нормальный отрыв) по ГОСТ 15140–78*.

Анализ экспериментальных данных (табл. 4.11) показал, что контрольный состав (модифицированный диатомит:известь:цемент:песок = 4:1:0,1:2,5:В/И = 6) характеризовался низкими значениями адгезионной прочности, равными $R_{\text{сц}} = 0,2$ МПа.

Т а б л и ц а 4 . 1 1

Вид добавки	Водоизвестковое отношение, В/И	Адгезия, МПа
– (контрольный состав*)	6	0,2
С-3, (2 %)	5	0,3
Denka (1 %)	6	0,35
С-3(2 %) + Denka SC1 (1 %)	5	0,6
Neolith 7200 (0,75 %)	6	0,25
Neolith 4400 (0,75 %)	6	0,25
С-3+Neolith 7200(0,75 %)	5	0,45
С3(2 %) + Denka SC1 (1 %) + Neolith 7200 (0,75 %)	5	0,8

П р и м е ч а н и е . *Состав ССС (модифицированный диатомит:известь:цемент :песок = 4:1:0,1: 2,5:В/И=6).

Присутствие полимерных добавок в составе сухих смесей позволяет значительно повысить клеящую способность и улучшить когезионно-адгезионное взаимодействие состава с основанием [3, 10, 27, 32, 95, 103]. Наибольшая прочность сцепления, составляющая 0,8 МПа, наблюдалась при введении в рецептуру добавок С3, Denka SC1, Neolith 7200. Прочность сцепления отделочного состава с добавкой С-3+Neolith 7200 несколько меньше и составляет 0,45 МПа.

4.2. Оценка тепловлажностного состояния ограждающих конструкций при наличии отделочного слоя

Для оценки влияния штукатурного слоя на основе разработанной ССС на изменение теплового и влажностного режима ограждающих конструкций зданий был выполнен теплотехнический расчет стены, конструктивное решение которой приведено на рис. 4.2. В качестве на-

ружных климатических параметров для расчетов были выбраны по карте климатического районирования (СНиП 23–01) города, находящиеся в различных климатических условиях и зонах влажности [89, 91]: Москва, Якутск, Пенза.

В качестве теплоизоляционного слоя в работе приняты:

– плиты из пеностекла плотностью 260 кг/м^3 и коэффициентом теплопроводности $0,098 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$;

– плиты из пенополистирола плотностью $\rho = 100 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $0,041 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$;

– плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем плотностью $\rho = 60 \text{ кг/м}^3$ и коэффициентом теплопроводности $0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$.

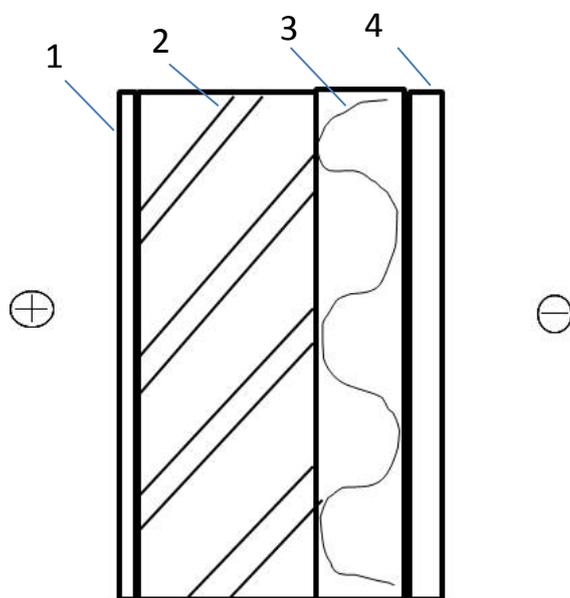


Рис. 4.2. Конструктивное решение стены:

- 1 – кирпичная кладка из сплошного кирпича силикатного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$;
- 2 – утеплитель; 3 – многослойная штукатурка;
- 4 – штукатурка

При расчетах рассматривалось три варианта отделки:

1 – внутренняя и наружная поверхности конструкции стены отделаны цементно-песчаным раствором плотностью $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$;

2 – внутренняя поверхность конструкции отделана цементно-песчаным раствором плотностью $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, наружная поверхность конструкции стены отделана штукатуркой на основе известково-диатомитового состава плотностью 840 кг/м^3 .

3 – внутренняя и наружная поверхности конструкции отделаны штукатуркой на основе известково-диатомитового состава плотностью 840 кг/м³.

СП 23-101 и СНиП 23–02 [90, 92] рекомендует использовать в расчетах приведенное сопротивление теплопередаче R_o^r , м²·°С/Вт, для наружных стен фасада здания либо для одного промежуточного этажа с учетом откосов проемов. Для этого вводится коэффициент теплотехнической однородности r , величина которого для стен жилых зданий из кирпича должна быть не менее 0,74 при толщине стены 510 мм.

При расчете параметры воздуха внутри помещений были выбраны из условий комфортности внутри здания в зависимости от его назначения. Оптимальная температура воздуха внутри помещений жилых и общественных зданий для холодного периода года составляла $t_{int} = (20 + 2) °С$, а относительная влажность воздуха – $\phi_{int} = (55 + 5) \%$ [90, 29].

Задача состояла в нахождении $R_o^r = R_o \cdot r$ и сравнении полученной величины с R_{reg} для принятых городов, при этом должно выполняться условие

$$R_o^r \geq R_{reg}, \quad (4.2)$$

где R_{reg} – нормируемое сопротивление теплопередачи м²·°С/Вт;
 R_o – сопротивление теплопередаче R_o^r , м²·°С/Вт;
 r – коэффициент теплотехнической однородности.

и условие

$$\Delta t_o = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R_o \lambda_{int}} < 4 °С = \Delta t_n, \quad (4.3)$$

где t_{ext} – средняя температура наружного воздуха, °С, (СНиП 23–01);
 t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, равная 20 °С.

Выполнение условий (4.2 и 4.3) обеспечивает ограничение температуры и недопущение конденсации влаги на внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Нормируемое значение R_{reg} , определяли по [92], используя формулу

$$R_{reg} = aD_d + b, \quad (4.4)$$

где a, b – коэффициенты;

D_d – градусо-сутки отопительного периода, определяемые по формуле

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})z_{ht}, \quad (4.5)$$

где t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, равная 20 °С;

t_{ext} – средняя температура наружного воздуха, °С, (СНиП 23-01);

z_{ht} – продолжительность отопительного периода, сут, (СНиП 23-01).

Сопrotивление теплопередачи многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями R_o определяли по формуле

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (4.6)$$

где α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по СНиП 23–02 и равный 8,7 Вт/(м²·°С);

δ_i – толщина i -го слоя, м;

λ_i – расчетный коэффициент теплопроводности материала i -го слоя, Вт/(м·°С), принимаемый в зависимости от условий эксплуатации А или Б;

α_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода года, принимаемый по СНиП 23–02 и равный 23 Вт/(м²·°С).

Требуемая толщина плит утеплителя определялась с учетом коэффициента теплотехнической однородности по формуле

$$\delta_{\text{ут}} = \left(\frac{R_{\text{рег}}}{r} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} \right) \right) \lambda_{\text{ут}}, \quad (4.7)$$

где δ_i, λ_i – толщина и коэффициент теплопроводности слоев ограждающей конструкции соответственно, исключая слой утеплителя, м;

$\delta_{\text{ут}}, \lambda_{\text{ут}}$ – толщина и коэффициент теплопроводности утеплителя, м.

Расчетами установлено, что толщины плит утеплителей применительно к условиям г. Пензы составляют:

– на основе пенополистирола – 0,09 м;

– на основе стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем – 0,132 м;

– на основе пеностекла – 0,215 м.

Для проверки наличия зоны конденсации внутри стены различного конструктивного решения было определено ее сопротивление паропроницанию R_{vp} по формуле

$$R_{vp} = R_{вп} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{нп}, \quad (4.8)$$

где $R_{вп}$ – сопротивление влагообмену у внутренней поверхности ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

δ_i – толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м;

μ_i – расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции, $\text{м}^2 / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$, принимаемый по [89, 97];

$R_{нп}$ – сопротивление влагообмену у наружной поверхности ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Поскольку величина сопротивления влагообмену у внутренней поверхности ограждения $R_{вп}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, значительно меньше сопротивления паропроницанию отдельных слоев ограждения, для практических расчетов принимали следующие значения этих сопротивлений [4]:

– у внутренней поверхности ограждения $R_{в.п.} = 0,027 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$;

– у наружной поверхности ограждения $R_{н.п.} = 0,013 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Были определены парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены по формуле и данным, приведенным в [92, 97].

$$\tau_i = t_{в} - \frac{t_{в} - t_{н}}{R_0} (R_{в} + \sum_{n-1} R); \quad (4.9)$$

$$e_i = e_{в} - \frac{e_{в} - e_{н}}{R_{о.п}} \sum_{n-1} R_n \quad (4.10)$$

При расчетах влажностного режима стеновой конструкции за наружную температуру воздуха принимали среднемесячную температуру января, а также температуру наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 .

Для определения температуры τ_i , максимальное парциальное давление водяного пара E_i и действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев конструкции стены была разработана компьютерная программа. Результаты расчета сведены в табл. 4.12.

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев для всех вариантах отделки конструкции кирпичной стены с применением разработанных составов на основе модифицированного диатомита для г. Пензы видно, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможной конденсации.

Таблица 4.12

Распределение температуры и упругости водяного пара в конструкции для условий г. Пензы

Тип конструкции	Вариант отделки	Вид утеплителя	Номера границ слоев	Температура на границе слоев, °С	Упругость водяного пара на границе слоев	Максимальная упругость водяного пара на границе слоев	
Рис. 4.1	2	Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	4	5	6	7	
			0-1	18,7	1402	2156	
	1		1-2	18,6	1366	2142	
			2-3	11,2	345	1331	
			3-4	-11,4	231	229	
	3			5	-11,7	170	223
				0-1	18,8	1402	2169
				1-2	18,6	1366	2142
				2-3	11,5	333	1355
				3-4	-10,3	217	251
		5	-11,7	170	223		
		0-1	18,8	1402	2169		
		1-2	18,1	1381	2077		
		2-3	11,1	289	1321		
		3-4	-10,3	204	251		
			5	-11,8	170	221	

Продолжение табл. 4.12

1	2	3	4	5	6	7	
	1		0-1	18,4	1402	2115	
			1-2	18,2	1364	2089	
			2-3	9,0	282	1148	
			3-4	-11,3	235	229	
			5	-11,6	170	225	
	2		Плиты из пенополистирола	0-1	18,5	1402	2129
				1-2	18,3	1363	2102
				2-3	9,5	268	1188
				3-4	-9,8	220	264
				5	-11,6	170	225
	3			0-1	18,9	1402	2182
				1-2	18,2	1380	2089
				2-3	11,5	240	1355
				3-4	-10,4	206	251
				5	-11,8	170	221

Окончание табл. 4.12

1	2	3	4	5	6	7
			0-1	19,2	1402	2225
	1	Плиты из пеностекла	1-2	19,1	1392	2210
			2-3	14,1	976	1609
			3-4	-11,7	187	223
			5	-11,9	170	217
			0-1	19,2	1402	2225
	2		1-2	19,1	1392	2210
			2-3	14,3	975	1629
			3-4	-10,9	183	237
			5	-11,9	170	217
	3		0-1	18,8	1402	2169
			1-2	18,0	1394	2064
			2-3	10,8	976	1295
			3-4	-10,2	183	255
			5	-11,7	170	223

Таблица 4.13

Распределение температуры и упругости водяного пара в конструкции для условий г. Москва

Тип конструкции	Вариант отделки	Вид утеплителя	Номера границ слоев	Температура на границе слоев, °С	Упругость водяного пара на границе слоев	Максимальная упругость водяного пара на границе слоев
Рис. 4.1	1	Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	4	5	6	7
			0-1	18,9	1402	2182
	1-2		18,8	1377	2169	
	2-3		12,4	333	1440	
	3-4		-9,5	247	268	
	5		-9,8	204	264	
	0-1		18,9	1402	2182	
	1-2		18,8	1376	2169	
	2-3		12,7	323	1468	
	3-4		-8,5	237	296	
	5		-9,8	204	264	
	0-1		18,9	1402	2182	
	1-2		18,3	1382	2102	
2-3	12,1	326	1412			
3-4	-8,5	238	296			
5	-9,8	204	264			

Продолжение табл. 4.13

1	2	3	4	5	6	7
	1	Плиты из пенополистирола	0-1	19,0	1402	2197
			1-2	18,9	1382	2182
			2-3	13,2	556	1517
			3-4	-9,6	238	268
			5	-9,8	204	264
	2		0-1	19,0	1402	2197
			1-2	18,9	1382	2182
			2-3	13,4	550	1537
			3-4	-8,7	230	293
			5	-9,8	204	264
	3		0-1	19,1	1402	2210
			1-2	18,5	1381	2129
			2-3	13,1	280	1508
			3-4	-8,7	239	293
			5	-9,9	204	260

Окончание табл. 4.13

1	2	3	4	5	6	7
	1	Плиты из пеностекла	0-1	18,9	1402	2182
			1-2	18,8	1393	2169
			2-3	12,3	1025	1431
			3-4	-9,5	219	268
			5	-9,8	204	264
	2		0-1	18,9	1402	2182
			1-2	18,8	1393	2169
			2-3	12,5	1024	1449
			3-4	-8,5	216	296
			5	-9,8	204	264
	3		0-1	19,0	1402	2197
			1-2	18,3	1395	2102
			2-3	12,3	1031	1431
			3-4	-8,6	216	293
			5	-9,8	204	264

Таблица 4.14

Распределение температуры и упругости водяного пара в конструкции для условий г. Якутска

Тип конструкции	Вариант отделки	Вид утеплителя	Номера границ слоев	Температура на границе слоев	Упругость водяного пара на границе слоев	Максимальная упругость водяного пара на границе слоев
1	2	3	4	5	6	7
Рис. 4.1	1	Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	0-1	18,5	1402	2129
			1-2	18,3	1374	2102
			2-3	9,3	220	1172
			3-4	-41,7	55	9,1
			5	-42,0	7	9
	2		0-1	18,5	1402	2129
			1-2	18,3	1374	2102
			2-3	9,5	211	1188
			3-4	-40,2	44	11,8
			5	-42,0	7	9
	3		0-1	18,5	1402	2129
			1-2	17,6	1379	2012
			2-3	8,9	211	1140
			3-4	-40,2	45	11,8
			5	-42,0	7	9

Продолжение табл. 4.14

1	2	3	4	5	6	7
	1		0-1	18,5	1402	2129
			1-2	18,4	1381	2115
			2-3	9,8	537	1212
			3-4	-41,7	42	9,1
			5	-42,1	7	9,1
	2	Плиты из пенополистирола	0-1	18,4	1402	2115
			1-2	18,3	1395	2102
			2-3	9,1	1089	1156
			3-4	-40,1	17	11,9
			5	-42,0	7	9
	3		0-1	18,6	1402	2142
			1-2	17,7	1385	2025
			2-3	9,5	533	119
			3-4	-40,4	34	11,6
			5	-42,1	7	9,1

Окончание табл. 4.13

1	2	3	4	5	6	7
	1		0-1	18,4	1402	2115
			1-2	18,2	1395	2089
			2-3	8,9	1090	1140
			3-4	-41,6	20	9,2
			5	-42,0	7	9
	2	Плиты из пеностекла	0-1	18,4	1402	2115
			1-2	18,3	1395	2102
			2-3	9,1	1089	1156
			3-4	-40,1	17	11,9
			5	-42,0	7	9
	3		0-1	18,5	1402	2129
			1-2	17,5	1396	2000
			2-3	8,5	1090	1109
			3-4	-40,2	17	11,8
			5	-42,0	7	9

Результаты выполненных расчетов показывают, что для условий г. Пензы для всех видов утеплителей и при оштукатуривании внешней и внутренней поверхности стены цементно-песчаным раствором плотностью $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ возможна конденсация влаги в толще утеплителя. При применении предлагаемой известково-диатомитовой штукатурки конденсация влаги отсутствует. Для условий г. Якутска конденсация влаги наблюдается для всех рассматриваемых случаев.

Установлено, что при применении в качестве штукатурки разработанного известково-диатомитового состава наблюдается смещение нулевой изотермы в сторону пониженных температур (рис. 4.3). В табл. 4.15 приведены значения границы нулевой изотермы в теплоизоляционном слое для условий г. Пензы по данным наиболее холодной пятидневки и среднемесячной температуры января.

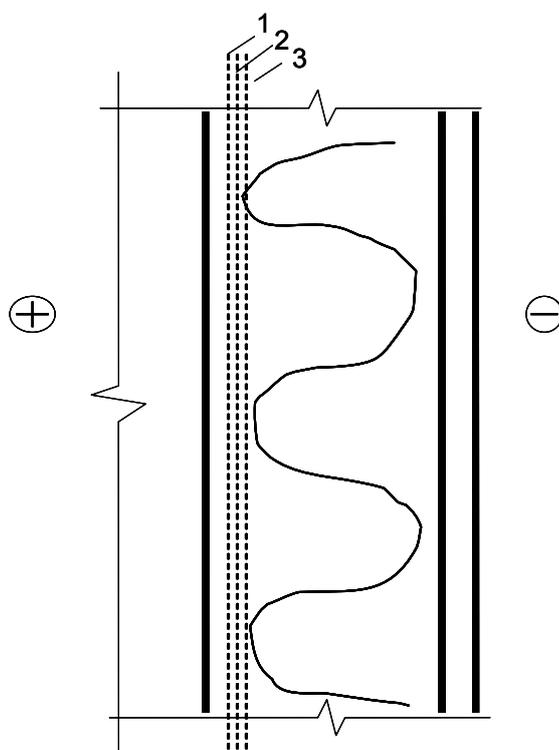


Рис. 4.3. Распределение нулевой изотермы по сечению конструкции:
 1 – конструкция отделана с двух сторон цементно-песчаной штукатуркой;
 2 – конструкция отделана с внутренней стороны цементно-песчаной штукатуркой, с наружной стороны известково-диатомитовой;
 3 – конструкция отделана с двух сторон известково-диатомитовой штукатуркой

Таблица 4.15

Положение нулевой изотермы в сечении конструкции
для условий г. Пензы

Варианты отделки	Расстояние от границы утеплителя до нулевой изотермы, м	
	По данным наиболее холодной пятидневки	По данным среднемесячной температуры в январе
Утеплитель – плиты из пенополистирола		
1	0,012	0,042
2	0,015	0,045
3	0,016	0,049
Утеплитель – плиты из пеностеклокерамики		
1	0,060	0,118
2	0,061	0,125
3	0,065	0,127

Установлено, что при отделке конструкции с внешней и внутренней стороны штукатуркой на основе разработанного известково-диатомитового состава наблюдается смещение нулевой изотермы на 4–7 мм (утеплитель – плиты из пенополистирола) и 5–9 мм (утеплитель – плиты из пеностекла) в сторону пониженных температур по сравнению с применением штукатурки на основе цементно-песчаного раствора.

Смещение нулевой изотермы при применении предлагаемого известково-диатомитового состава свидетельствует о том, что высыхание конструкции будет идти интенсивнее. Результаты расчета показывают, что при отделке конструкции с двух сторон штукатуркой на основе известково-диатомитового состава линия пересечения E и e наблюдается в толще теплоизоляционного слоя на расстоянии 0,088 м, а при применении цементно-песчаного раствора – на расстоянии 0,085 м.

4.3. Технология производства ССС

По результатам исследований оптимальной является сухая смесь с содержанием компонентов по массе, %: известь пушонка – 23,56; диатомит, модифицированный золем кремниевой кислоты – 60,69; сурский кварцевый песок фракций 0,63–0,315 мм и 0,315–0,14 мм в соотношении 80:20-10 ; суперпластификатор С-3 – 4,71; добавка Denka SC1 – 0,57; редиспергируемый порошок Neolith 7200 – 0,47.

В табл. 4.16 приведены свойства покрытий на основе предлагаемой ССС.

Т а б л и ц а 4 . 1 6

Технологические и эксплуатационные свойства отделочного состава

Наименование показателя	Величина показателя отделочного состава
Адгезионная прочность R_a , МПа	0,4...0,8
Жизнеспособность, час	
– при хранении в открытых ёмкостях	8...10
– при хранении в закрытых ёмкостях	40...48
Время высыхания при 20°С до степени «5», мин	Не более 60
Водоудерживающая способность, %	95-96
Рекомендуемая толщина одного слоя, мм	до 5
Расход отделочного состава при нанесении в 1 слой, кг/м ²	0,4...0,6
Удобоукладываемость	Хорошая
Наличие трещин вследствие усадки	нет
Морозостойкость, циклы	35
Водостойкость, коэффициент размягчения	0,6
Усадочные деформации, мм/м	0,35

Технология производства сухой смеси состоит из трех составных частей:

- подготовка исходных материалов;
- приготовление смесей;
- отпуск готовой продукции.

Технологическая линия по производству сухой смеси включает следующие технологические модули:

- ✓ модуль приема;
- ✓ смесительный модуль, имеющий в своем составе линию дозирования и перемешивания составляющих компонентов сухой смеси , а также добавок;
- ✓ модуль упаковки и выдачи готовой продукции.

Для сушки наполнителя (песка, диатомита) применяют сушильные агрегаты. При работе сушилки практически полностью исключено загрязнение окружающей среды, поскольку не наблюдается унос транс-

портируемого материала с паро-воздушной смесью. Вследствие этого применение сушилки не требует установки циклонов, они могут эксплуатироваться в городской черте.

Аппарат комплектуется пультом управления, который позволяет регулировать потребляемую электроэнергию в зависимости от влажности обрабатываемого материала.

Для принудительного смешивания используют вибрационные смесители, которые обеспечивают высокое качество смесей. Основное достоинство вибросмесителей заключается в том, что процесс смешивания материала, в этих аппаратах, осуществляется без применения каких-либо механических мешалок.

Готовые смеси загружают в бункера. Готовая продукция упаковывается бумажные трёх-, четырёхслойные клапанные мешки с полиэтиленовым пакетом – вкладышем, исключая попадание влаги и посторонних примесей. Сухая смесь упаковывается в мешки емкостью от 5 до 50 кг. Хранение и транспортирование сухой смеси допускается при положительных и отрицательных температурах при относительной влажности воздуха не более 70 %. Срок хранения сухой смеси 6 месяцев со дня изготовления. Перевозка сухой смеси должна осуществляться любым видом транспорта в крытых транспортных средствах в соответствии с правилами перевозки грузов, действующих на соответствующем виде транспорта.

На рис. 4.3 приведена схема производства ССС с применением модифицированного диатомита.

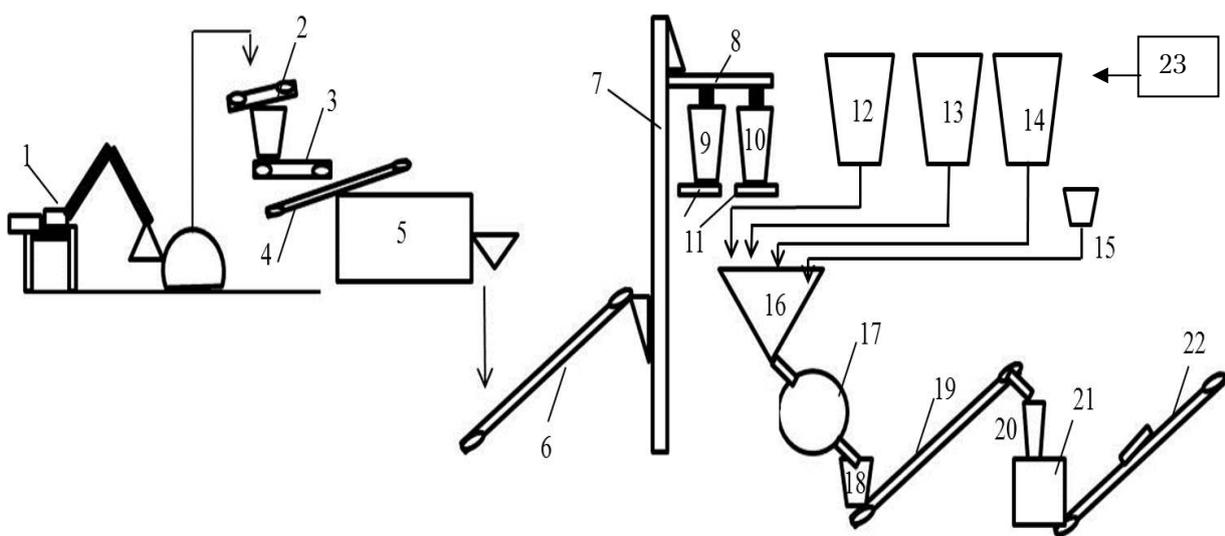


Рис. 4.3. Схема производства ССС на основе модифицированного диатомита

На рис. 4.3 приведены следующие обозначения:

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. Грейферный погрузчик | 14. Склад модифицированного диатомита |
| 2. Виброгрохот | 15. Дозатор пластифицирующих добавок |
| 3. Питатель шнековый | 16. Дозатор |
| 4. Ленточный конвейер | 17. Смеситель |
| 5. Барабанное сушило с грохотом | 18. Емкость готовой смеси |
| 6. Вертикальный шнек. | 19. Вертикальный шнек |
| 7. Элеватор. | 20. Бункер готовой смеси |
| 8. Вибросито | 21. Затарочная машина |
| 9. Бункер мелкого песка | 22. Ленточный конвейер |
| 10. Бункер крупного песка | 23. Узел приготовления модифицированного диатомита |
| 11. Винтовые питатели | |
| 12. Склад вяжущего(цемент) | |
| 13. Склад вяжущего(известь) | |

Разработаны нормативные документы на производства ССС с применением модифицированного диатомита.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адлерберг, М.М. Математико-статистический анализ результатов испытаний лакокрасочных покрытий в различных климатических зонах [Текст] / М.М. Адлерберг, М.И. Карякина // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1972. – №4. – С. 51–53.
2. Айлер, Р. К. Химия кремнезёма [Текст] / Р.К. Айлер. – М: Мир, 1982. – 416 с.
3. Алтыкис, М.П. Сухие растворные смеси для высококачественной отделки [Текст] / М.П. Алтыкис // Известия вузов. Строительство – 2002. – №4. – С. 60–63.
4. Антипина, С.А. Исследование поведения диатомита при термической обработке при производстве теплоизоляционных материалов [Текст] / С.А. Антипина, Л.А. Ларкина, И.Б. Пушкарева // Проблемы геологии и освоения недр: труды VIII научного симпозиума им. академика М.А. Усова – Томск. – 2002. – С. 850–852.
5. Артамонов, А. В. Технология получения заполнителей для сухих строительных смесей и других материалов заданного зернового состава [Текст] / А.В. Артамонов // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2010. – № 4. – С. 104–106.
6. Арутюнов, П.А. Система параметров для анализа шероховатости поверхности материалов в сканирующей зондовой микроскопии [Текст] / П.А. Арутюнов, А.Л. Толстихина, В. И. Демидов // Законодательная и прикладная метрология. – 1999 – № 8 – С. 27–37.
7. Ахтямов, Р.Я. Легкие строительные штукатурные растворы с вермикулитовым заполнителем [Текст] / Р.Я. Ахтямов, Р.М. Ахмедьянов, Б.Я. Трофимов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 11. – С. 16–17.
8. Бабушкин, В.И. Термодинамика силикатов [Текст] / В.И. Бабушкин, М.Г. Матвеев, О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 352 с.
9. Байвель, Л.П. Измерение и контроль дисперсности частиц методом светорассеяния под малыми углами [Текст] / Л.П. Байвель, А.С. Лагунов. – М.: Энергия, 1977 – 88 с.
10. Безбородов, В.А. Сухие смеси в современном строительстве [Текст] / В.А. Безбородов, В.И. Белан, П.И. Мешков. – Новосибирск, 1998 – 94 с.
11. Беленький, Е.Ф. Химия и технология пигментов [Текст] / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. – Л.: Химия, 1974 – 656 с.

12. Беляков, А.В. Преимущество теплоизоляции из материалов с естественной пористостью [Текст] / А.В. Беляков, С.Э. Иванов // Новые огнеупоры. – 2008. – № 7. – С. 41–44.

13. Большаков, Э.Л. Актуальные проблемы науки и технологии сухих строительных смесей [Текст] / Э.Л. Большаков // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2009. – № 4–5. – С. 94–105.

14. Бойтон, Р. Химия и технология извести [Текст] /Р. Бойтон. – М.:Стройиздат, 1972. – 239 с.

15. Боченин, В.И. Количественный рентгенофазовый анализ сыпучих сырьевых материалов по регистрации дифракционного и характеристического излучений [Текст] / В.И. Боченин // Дефектоскопия. – 2007. – № 11. – С. 83–87.

16. Бузаева, М.В. Экологическая безопасность химически модифицированного диатомита [Текст] / М.В. Бузаева, Е.М. Булыжев, Е.С. Климов // Башкирский химический журнал.- 2011. – Т. 18. – № 1. – С. 86–88.

17. Ванг, Жи-Йинг. Изучение структуры некоторых важнейших китайских диатомитов [Текст] / Ванг Жи-Йинг, Жанг Ли-Пинг, Янг Ю-Ксианг // Физика и химия стекла. – 2009. – Т. 35, № 6 – С. 889.

18. Власов, В.К. Закономерности оптимизации состава бетона с дисперсными минеральными добавками [Текст] / В.К. Власов // Бетон и железобетон. – 1993. – № 4. – С. 10–12.

19. Волженский, А.В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия [Текст] / А.В. Волженский, В.И. Стамбулко, А.В. Ферронская. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. – 318 с.

20. Голунов, С.А. Подходы к методологии экспериментальных исследований климатических воздействий на композиционные системы с тонкими штукатурными слоями [Текст] / С.А. Голунов, Е.В. Дудяков, А.П. Пустовгар // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 608–612.

21. Гольдштейн, Л.Я. Минеральные добавки к цементам и методы определения их активности [Текст] / Л.Я. Гольдштейн // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2012. – № 2. – С. 22–29.

22. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы. Структура и свойства [Текст] / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов.– М.: Стройиздат, 1975 – С. 573.

23. ГОСТ 31357–2007. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 2009-01-01– М.: ИПК изд-во стандартов, 2008 – 10 с.

24. ГОСТ 5802–86. Растворы строительные. Методы испытаний. введ. – М.:Изд-во стандартов.1986. – 22 с.
25. ГОСТ 8735–88. Песок для строительных работ. Методы испытаний
26. ГОСТ 9179–77. Известь строительная. Технические условия.
27. Горегляд, С.Ю. Использование модифицирующих добавок при производстве сухих строительных смесей [Текст] / С.Ю. Горегляд // Строительные материалы. – 2001. – №8. – С. 28 – 29.
28. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ [Текст] / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981 – 333 с.
29. Дергунов, С.А. Проектирование составов сухих строительных смесей общестроительного назначения [Текст] / С.А. Дергунов // Строительные материалы. – 2007. – № 9. – С. 77–77.
30. Демьянова, В.С. Оценка совместной работы отделочного штукатурного раствора с основанием подложки в процессе эксплуатации [Текст] / В.С. Демьянова, Н.М. Дубошина, О.Н. Саксонова // Строительные материалы и изделия : мат. XXIX науч.-техн. конф. – Пенза, 1997. – С. 34–37.
31. Добровольский, В.В. Геология [Текст] / В.В. Добровольский. – М.: Гуманит. издат. центр «ВЛАДОС». – 2003 – 320 с.
32. Доманская, И.К. Особенности формирования и пути совершенствования ассортимента сухих строительных смесей [Текст] / И.К. Доманская, Н.Г. Скорова // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси.- 2007. – № 1.– С. 47–51.
33. Дубинин, М.С. Оптимизация минеральной части сухих строительных смесей [Текст] / М.С. Дубинин, А.А. Аманбаев // Современные технологии сухих смесей в строительстве «MixBUILD»: сб. докл. 2 Междунар. научно-техн. конф., СПб., 2–4 декабря 2003 г. – СПб., 2003. – С. 41–48.
34. Дьяченко, Е.И. Роль зернового состава заполнителя в сухих строительных смесях [Текст] / Е.И. Дьяченко, А.Н. Сушенков // сб. докл. 1 Междун. конф. BaltiMix, Санкт-Петербург, 2001 – С. 83–87
35. Евтушенко, Е.И. Активационные процессы в технологии строительных материалов/ Е.И. Евтушенко. – Белгород, 2003 – 208 с.
36. Жерновский, И.В. Применение полнопрофильного метода в рентгенофазовом исследовании цементного клинкера [Текст] / И.В. Жерновский, А.Н. Хархардин, В.В. Строкова // Известия вузов. Строительство. – 2007. – №11. – С. 94–97.

37. Зозуля, П.В. Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей и наполнителей для сухих строительных смесей [Текст] / П.В. Зозуля // сб. тез. докл. 3 Междун. конф. BaltiMix. – Санкт-Петербург, 2003. – С. 12–13.

38. Зоткин, А.Г. Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне [Текст] / А.Г. Зоткин // Бетон и железобетон. – 1994. – № 3. – С. 7–9.

39. Иванов, С.Э., Диатомит и области его применения [Текст] / С.Э. Иванов, А.В. Беляков // Стекло и керамика. – 2008. – № 2. – С. 18–21.

40. Ильичёва, О.М. Рентгенографический Rietveld-анализ Кизельтура [Текст] / О.М. Ильичёва, Н.И. Наумкина, Т.З. Лыгина // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 4. – С. 32–35.

41. Карапузов, Е.К. Сухие строительные смеси: справ. пособие [Текст] / Е.К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд [и др.]. – К.: Техніка, 2000. – 226 с.

42. Каримов, И.Ш. Влияние тонкодисперсных минеральных наполнителей на прочность бетона (литературный обзор) [Электронный ресурс], 2006 // Режим доступа: <http://dh.ufacom.ru/Articlefiller.html>

43. Корнеев, В.И. «Что» есть «что» в сухих строительных смесях [Текст]: словарь / В.И. Корнеев. – СПб.: НП «Союз производителей сухих строительных смесей», 2004. – 312 с.

44. Кройчук, Л.А. Опыт изготовления и использования сухих растворных смесей за рубежом [Текст] / Л.А. Кройчук // Строительные материалы. – 2000. – № 9. – С. 16–17.

45. Кудрявцев, В.П. Практическое применение метода Ритвельда в текущем контроле качества клинкера и цемента на ОАО «Осколцемент» [Текст] / В.П. Кудрявцев, Е.В. Текучева, А.А. Дроздов // Цемент и его применение. – 2006. – № 5. – С. 55–57.

46. Кудряков, А.И. Влияние зернового состава и вида наполнителей на свойства строительных растворов [Текст] / А.И. Кудряков, Л.А. Аниканова, Н.О. Копаница [и др.] // Строительные материалы. – 2001. – № 11. – С. 28–29.

47. Лебедева, Л.М. Справочник штукатурка [Текст] / Л.М. Лебедева. – М.: Высшая школа, 1996 – 206 с.

48. Левкова, Н.С. Фракционированные пески и наполнители из различных видов горных пород для производства сухих строительных смесей [Текст] / Н.С. Левкова, Т.А. Горностаева // Современные технологии сухих смесей в строительстве «MixBUILD»: сб. докл. 2-й

Междунар. науч.-техн. конф., СПб., 2–4 декабря 2003 г. – СПб. 2003 – С. 31–33.

49. Логанина, В.И. Влияние дисперсности извести на физико-механические свойства отделочного состава [Текст] / В.И. Логанина, Т.Н. Хаскова, И.С. Великанова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 10. – С. 36–39.

50. Логанина, В.И. Влияние поверхностной активности наполнителя на структурообразование отделочных покрытий на основе сухих смесей [Текст] / В.И. Логанина, И.С. Великанова // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 5. – С. 58–60.

51. Логанина, В.И. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций [Текст] / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 3. – С. 20–24.

52. Логанина, В.И. Золь-гель технология для синтеза кремнийсодержащей добавки известковых отделочных составов [Текст] / В.И. Логанина, Н.А. Прошина, О.А. Давыдова // Строительные материалы. – 2009. – № 7. – С. 48–49.

53. Логанина, В.И. Применение добавки золя кремниевой кислоты при изготовлении известковых отделочных составов [Текст] / В.И. Логанина, Н.А. Прошина, О.А. Давыдова // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 6. – С. 30–2.

54. Логанина, В.И. Исследование закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита [Текст] / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Строительные материалы. – 2011. – №12. – С. 63–66.

55. Логанина, В.И. Известковые отделочные составы на основе золь-гель технологии [Текст] / В.И. Логанина, О.А. Давыдова // Строительные материалы. – 2009. – №3. – С. 50–52.

56. Маневич, В.Е. Высокоэффективный теплоизоляционный материал на основе диатомового сырья [Текст] / В.Е. Маневич, Е.А. Никифоров, А.Л. Веницкий, А.В. Мешков, Н.А. Сенник, Р.К. Субботин // Строительные материалы. – 2012. – № 11. – С. 18–21.

57. Мартиросян, Г.Г. Исследование адсорбционно-структурных свойств природных и обработанных диатомитов [Текст] / Г.Г. Мартиросян, А.Г. Манукян Э.Б. Овсепян, К. А Костанян // Журнал прикладной химии. – 2003. – Т. 76. – № 4. – С. 551–555.

58. Нажарова, Л.Н. Влияние диатомита и продуктов его переработки на обжиговые свойства керамических изделий [Текст] / Л.Н. Нажарова, Е.Н. Филиппович, А.В. Скворцов, А.Р. Валиуллова // Вестник

Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 20. – С. 87–89.

59. Никифоров, Е.А. Сравнительное исследование методов формирования теплоизоляционных изделий из диатомита [Текст] / Е.А. Никифоров, А.Б. Климовский, С.А. Нестерова, С.Э. Иванов, Г. Г. Галимов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12. – № 4–2. – С. 346–352.

60. Никифоров, Е.А. Особенности структурообразования известковых композитов с применением модифицированного диатомита [Текст] / Е.А. Никифоров, В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С.4–9.

61. Олемской, А.И. Использование концепции фрактала в физике конденсированной среды [Текст] / А.И. Олемской, А.Я. Флат / Успехи физических наук. – 1989. – Т. 163. – № 3. – С. 1–50.

62. Онищенко, А.Г. Отделочные работы в строительстве [Текст] / А.Г. Онищенко. – М.: Высшая школа, 1989 – 134 с.

63. Орендлихер, Л.П. Сухие смеси для отделки стен зданий на базе местных материалов [Текст] / Л.П. Орендлихер, В.И. Логанина, А. М. Пичугин, Р. Ю. Пучков // Известия вузов. Строительство. – 2001. – №7. – С. 39–42.

64. Патент 2008147453 Российской Федерации. Способ получения шихты для синтеза волластонита и её состав / Т.В. Вакалова (RU), В.М. Погребенков (RU), Н.П. Шляева (RU) // Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет (RU), 2010.

65. Патент 2008138138 Российской Федерации. Технологическая добавка для резиновых смесей / В.К. Битюков (RU), С.Г. Тихомиров (RU), И.А. Осошник (RU), Л.В. Попова (RU), О.В. Карманова (RU), Т.В. Тарасевич (RU) // Общество с ограниченной ответственностью «СОВТЕХ» (RU), 2010.

66. Патент 3607854 Российской Федерации . Способ получения высококремниземистого цеолита / Н.А. Купина (RU), К.Г. Ионе (RU), Г.Г. Сидоренко (RU), Л.В. Пирютко (RU), Л.С. Аладко (RU) // Институт катализа СО АН СССР (RU), 1999.

67. Патент 2244301 Российской Федерации. Способ определения степени уплотнения и заполнения крупнозернистых фракций мелкозернистыми / В.А. Миронов (RU), А.И. Голубев (RU) // В.А. Миронов (RU), 2003.

68. Патент 2278839 Российской Федерации. Комплексная добавка/ Л.Б. Сватовская (RU), Д.В. Герчин (RU), А.В. Бордуля (RU), Ю.Н. Темников (RU) // ГОУ ВПО «Петербургский гос.ун-т путей сообщения М-ва путей путей сообщения Российской Федерации» (RU), 2008.

69. Патент 2004115715 Российской Федерации. Добавка для модификации гипсовых вяжущих, строительных растворов и бетонов на их основе / П.А. Ефимов (RU), А.П. Пустовгар (RU) // А.П. Пустовгар (RU), 2005.

70. Патент РФ 2297991 Российской Федерации. Сухая строительная смесь / В.П. Селяев (RU), Л.И. Куприяшкина (RU), А.А. Болдырев (RU) // Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева (RU), 2007.

71. Патент 2009123596 Российской Федерации. Способ получения аморфного диоксида кремния / В.В. Наседкин (RU), В.И. Лукашов (RU) // В.В. Наседкин (RU), В.И. Лукашов (RU), 2010.

72. Патент 2326085 Российской Федерации. Способ снижения высолообразования на поверхности кирпичной кладки на цементном растворе/ Н.Г. Чумаченко (RU), Е.В. Мироненко (RU) // Самарский государственный университет архитектуры и строительства.(RU) 2006.

73. Патент 2394006 Украины. Состав теплоизоляционной штукатурной смеси для внешних и внутренних работ / Ю.М. Сидоренко (UA), О.А. Макаренко (UA), В.Ю. Синельников (UA), 2008.

74. Патент 2002104643 Российской Федерации. Способ изготовления пористого заполнителя / В.В.Иваницкий (RU), А.В. Бортников (RU), А.Ф. Бурьянов (RU), Ю.В. Гудков (RU), Н.А. Сапелин (RU) // ОАО «ВНИИСТРОМ им. П. П. Будникова»(RU), 2005.

75. Патент 2085542 Российской Федерации. Способ приготовления водной суспензии микрокремнезема / С.С. Каприелов (RU), В.Г. Батраков (RU), А.В. Шейнфельд (RU) // Центр модифицированных бетонов(RU), 1994.

76. Патент 98104426 (US) Высокоочищенный биогенный кремнийдиоксидный продукт, / Сю Джером С. (US), Палм Скотт К. (US), Смит Тимоти Р. (US), Ниамеки Джордж А. (US), Танигучи Джеффри Д. (US), Ван Цюнь (US) // Веселицкая И.А. Эдвансд Минералс Корпорейшн (US), 2001.

77. Парюшкина, Н.Ю. Перспективы развития сырьевой базы кварцевого песка для производства сухих строительных смесей [Текст] / Н.Ю. Парюшкина, М.С. Алимова, К.Ю. Чумакова // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2008.– № 2. – С. 75–79.

78. Пащенко, А.А. Физическая химия силикатов [Текст] / А.А. Пащенко. – Киев: Вища школа. 1977. – 384 с.

79. Прошин, А.П. Новые отделочные сухие смеси [Текст] / А.П. Прошин, В.И. Логанина, А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.С. Великанова // Строительные материалы. – 2006. – № 1. – С. 38–40.

80. Пустовгар, А.П. Эффективность применения активированного диатомита в сухих строительных смесях [Текст] / А.П. Пустовгар // Строительные материалы. – 2006. – №4. – С. 2–4.

81. Пухаренко, Ю.В. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей [Текст] / Ю.В. Пухаренко, А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина, Т.Ю. Сафонова // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 1. – С. 98–103.

82. Радаев, С.С. Применение диатомитов в производстве строительных материалов [Текст] / С.С. Радаев, К.С. Иванов, О.И. Селезнёва, Н.З. Рясная // Приволжский научный журнал. – 2011. – № 2. – С. 48–52.

83. Рамачандрана, В.С. Добавки в бетон: справ. пособие / В.С. Рамачандрана. – М.: Стройиздат, 1988 – С. 168–184.

84. Росс, Х. Штукатурка. Практическое руководство. Материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов [Текст] / Х. Росс, Ф. Шталь. – СПб.: РИА «Квинтет», 2006 – 173 с.

85. Рубцова, В.Н. Оптимизация минеральной части сухих строительных смесей [Текст] / В.Н. Рубцова, С.А. Дергунов // сб. докл. 3 Междунар. науч.-техн. конф. BaltiMix, Санкт-Петербург. – 2003 – С. 41–46.

86. Рунова, Р.Ф. Особенности применения минеральных вяжущих в сухих строительных смесях [Текст] / Р.Ф. Рунова, Ю.Л. Носовский // Современные технологии сухих смесей в строительстве «MIBUILD»: сб. докл. 2-й Междунар. научно-техн. конф., СПб., 10–12 октября 2000 г. – СПб., 2000 – С. 16–27.

87. Савилова, Г.Н. Штукатурные смеси общего и специального назначения [Текст] / Г.Н. Савилова // Строительные материалы. – 1999. – № 11. – С. 13–16.

88. Сидоров, В.И. Влияние добавки гидрозоль кремневой кислоты на технологические свойства известковых отделочных составов [Текст] / В.И. Сидоров, Н.И. Малявский, Ю.В. Устинова, В.И. Логанина, О.А. Давыдова // М.: Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 175–180.

89. СНиП 23-01-99 Строительная климатология. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России). – М.:2000. – 57 с.

90. СНиП 23-02–2003 Тепловая защита зданий. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России) – М.:2004 – С. 25.

91. СНиП 23-01–99 Строительная климатология. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России). – М.:2000. – С. 57.

92. СП 23-101–2004 Проектирование тепловой защиты зданий. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центр проектной продукции в строительстве» (ФГУП ЦПП). – М.: 2004. – С. 139.

93. Султанбеков, Т.К. Современные сухие строительные смеси [Текст] / Г.З. Шаяхметов, К.Т. Солтамбеков, З.А. Естемесов. – Алма-Ата: ЦЕЛСИМ, 2001 – 325 с.

94. Сычев, М.М. Природа активных центров и управление элементарными актами гидратации [Текст] / М.М. Сычев, В.М. Сычев // Цемент. – 1990. – № 5. – С. 6–10.

95. Урецкая, Е.А. Сухие строительные смеси: материалы и технологии [Текст]: науч.-практ. пособие / Е.А. Урецкая, Э.И. Батяновский. – Минск: НПООО «Стринко», 2001. – 208 с.

96. Федулов, А.А. Техничко-экономическое обоснование преимущества применения сухих строительных смесей [Текст] / А.А. Федулов // Строительные материалы. – 1999. – № 3. – С. 26–27.

97. Фокин, Г.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.

98. Филиппович, Е.Н. Выбор оптимальных условий щелочной обработки диатомита Инзенского месторождения для получения кристаллических силикатов натрия [Текст] / Е.Н. Филиппович, А.И. Хацринов, Т.В. Егорова // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 8. – С. 272–276.

99. Филиппович, Е.Н. Исследование кинетики извлечения аморфного кремнезема из диатомита Инзенского месторождения [Текст] / Е.Н. Филиппович, А.И. Хацринов, Л.Н. Нажарова, А.М. Сайфутдинов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 17. – С. 46– 49.

100. Черкасов, В.Д. Активная минеральная добавка на основе химически модифицированного диатомита [Текст] / В.Д. Черкасов, В.И. Бузулуков, А.И. Емельянов, Е.В. Киселев, Д.В. Черкасов / Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 12. – С. 50 – 55.

101. Шангина, Н.Н. Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры [Текст] / Н.Н. Шангина, А.М. Харитонов // Сухие строительные смеси. – 2011. – №4. – С.16–19.

102. Шеин, А.Л. Применение рентгенофазового анализа для контроля качества вяжущих в технологии сухих строительных смесей [Текст] / А.Л. Шеин // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2009. – № 1. – С. 85–88.

103. Ширина, Н.В. Сухие теплоизоляционные штукатурные смеси [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Н.В. Ширина. – Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, 2008. – 26 с.

104. Шрам, Г. Основы практической реологии и реометрии [Текст] / Г. Шрам; под ред. В.Г. Куличихина; пер. с англ. И.А. Лавыгина. – М.: КолосС, 2003. – 312 с.

105. Шубин, В.И. Производство сухих строительных смесей в России и мире. Тенденции развития [Текст] / В.И. Шубин, Л.Н. Грикевич, Л.А. Кройчук. – М.: НИИЦемент, 2005. – 52 с.

106. Эндрюс, М. Количественный рентгеноструктурный анализ (метод Ритвельда) на цементных заводах: контроль качества в производстве клинкера [Текст] / М. Эндрюс, М. Бергер // Сухие строительные смеси. – 2009. – №4. – С. 34–35.

107. Adams, F.W. Effect of particle size on the hydration of lime. *Industrial and engineering chemistry*. no.5–1997–P.589–591.

108. Allen, W.I. Lime as a building material. *The structural engineer* / W.I.Allen, L.A. McDonald // no.17.–2003.–317p.

109. Ashraf, M. Physico-chemical, morphological and thermal analysis for the combined pozzolanic activities of minerals additives / A. Naeem Khan, Qasair Ali, J. Mirza, A. Goyal, A.M. Anwar // *Original Research Article Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 6, June 2009. – P. 2207–2213.

110. Ashurst, J. The technology and use of hydraulic lime. *Lime news*–no.5–1997.– P.51–58.

111. Baojiao Gao Studies on the surface modification of diatomite with polyethyleneimine and trapping effect of the modified diatomite for phenol / Pengfei Jiang, Fuqiang An, Shuying Zhao, Zhen Ge // *Original Research Article Applied Surface Science*, Volume 250, Issues 1–4, 31 August 2005. – P. 273–279.

112. Celik, I.B. The effects of particle size distribution and surface area upon cement strength development / I.B. Celik // Original Research Article.

113. Crangle R. D., Jr. Diatomite / Elsie D. Isaac, Glenn J. Wallace // Mineral Commodity Summaries, 2011. Minerals Yearbook, Diatomite U.S. Geological Survey, 2011.

114. Powder Technology, Volume 188, Issue 3, 10 January 2009 – P. 272–276.

115. Dill, H.G. Fossil fuels, ore and industrial minerals / H.G. Dill, R.F. Sachsenhofer, P. Grecula, T. Sasvári, L.A. Palinkaš, S. Borojević–Šoštarić, S. Strmić–Palinkaš, W. Prochaska, G. Garuti, F. Zaccarini, D. Arbouille, H.–M. Schulz // Geology of Central Europe, 2008 – T. 6 – № 2 – C. 1341–1449.

116. Diatomite Market Research in the CIS and Forecast of Its Development in the Crisis Conditions / InfoMine research groupe Association of independent experts in field of mineral resources, metallurgy and chemical industry Moscow, March 2009 www.infomine.ru

117. Jiankun, Liu Experimental study of the dynamic properties of cement– and lime–modified clay soils subjected to freeze–thaw cycles / Jiankun Liu, Tianliang Wang, Yahu Tian // Original Research Article Cold Regions Science and Technology, Volume 61, Issue 1, April 2010 – P. 29–33.

118. Kashcheev, I.D. Production of heat–insulating diatomite articles by a plastic method of molding / Zemlyanoi K.G., Nikiforov E.A., Klimovskii A.B., Nesterova S.A. // Refractories and Industrial Ceramics, 2010 – T. 51 – № 1 – C. 18–24.

119. Korpa, A. Phase development in normal and ultra high performance cementitious systems by quantitative X–ray analysis and thermoanalytical methods / T. Kowald, R. Trettin // Original Research Article Cement and Concrete Research, Volume 39, Issue 2, February 2009 – P. 69–76.

120. Labovitz, M.L. Comod: a program for standardizing mineral–resource commodity data / W.D. Menzie, J.C. Griffiths // Original Research Article Computers & Geosciences, Volume 3, Issue 3, 1977 – P. 497–537.

121. Larbi, J. A. The chemistry of the pore fluid of silica fume–blended cement systems / J. A. Larbi, J. M. Bijen // Cem. and Concr. Res., 1990 – № 4. – P. 506–516.

122. Larbi, J. A. Effect of water–cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set portland cement systems / J. A. Larbi, J. M. Bijen // Cem. and Concr. Res., 1990. – № 5. – P. 783–794.

123. Nikiforov, E.A. Integrated diatomite works for producing the thermal insulating materials // Огнеупоры и техническая керамика, 2000. – № 8. – С. 42–43.

124. Orchard, D. Concrete technology, properties and testing of aggregates / D. Orchard. – London, 1976 – p. 281.

125. Roberts, L.R. Microsilica in concrete. / L.R. Roberts, W.R. Grace // Mater. Sci. Concr.1. – Westerville (Ohio), 1989. – P. 197–222.

126. Sobolev, K. High volume mineral additive for ECO– Cement/ K. Sobolev, // American Ceramic Society Bulletin, January 2002.

127. Subject Index / Encyclopedia of Geology, 2005 – P. 591–807.

128. Xincheng, Pu Investigation on pozzolanic effect of mineral additives in cement and concrete by specific strength index / Xincheng Pu // Cement and Concrete Research, Volume 29, Issue 6, June 1999. – P. 951–955.

129. Xingwei, Li Surface modification of diatomite using polyaniline / Xiaoxuan Li, Gengchao Wang // Original Research Article Materials Chemistry and Physics, Volume 102, Issues 2–3, 15 April 2007 – P. 140–143.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. СУХИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ	5
1.1. Сухие теплоизоляционные строительные смеси	5
1.2. Применение диатомита в сухих строительных смесях	36
2. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИАТОМИТА В СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ	45
2.1. Физико-химические основы активации диатомита.....	45
2.2. Выбор вида активации диатомита	62
3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ИЗВЕСТКОВО- ДИАТОМИТОВЫХ КОМПОЗИТОВ.....	64
3.1. Исследование закономерностей структурообразования известково-диатомитовых композиций на основе модифицированного кремнеземом диатомита	64
3.2. Реологические и технологические свойства известково-диатомитовых смесей	77
4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ	84
4.1. Эксплуатационная стойкость покрытий на основе ССС.....	84
4.2. Оценка тепловлажностного состояния ограждающих конструкций при наличии отделочного слоя.....	97
4.3. Технология производства ССС.....	112
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	116

Научное издание

Логанина Валентина Ивановна
Симонов Евгений Евгеньевич

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИАТОМИТА

Монография

В авторской редакции
Верстка Т.А. Лильп

Подписано в печать 10.05.13. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 7,44. Уч.-изд.л. 8,0. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ № 115.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.