

**УДК 691.53:666.96**  
**ББК 38.33**

**Рецензенты:**

Профессор кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов» МГСУ  
доктор технических наук

*В.В.Воронин*

Заведующая лабораторией коррозии НИИЖБ Госстроя РФ, профессор  
*В.Ф.Степанова*

**Козлов В.В.**

Сухие строительные смеси: Учебное пособие. – М.:  
Издательство АСВ, 2000. - 96 стр. с илл.  
ISBN 5-93093-068 - 6

Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта производства и применения сухих строительных смесей. Проанализированы технические требования, методы определения показателей качества, материалы для изготовления сухих строительных смесей. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены методы получения сухих строительных смесей с комплексом заданных свойств. Описаны области применения сухих строительных смесей и проанализированы технологические схемы их заводского производства.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников и студентов строительных вузов.

**УДК 691.53:666.96**  
**ББК 38.33**

**ISBN 5-93093-068-6**

© Козлов В.В., 2000

© Издательство АСВ, 2000

## Введение

Изменившаяся экономическая ситуация в нашей стране обусловила необходимость переоценки материально-сырьевой базы стройиндустрии с целью рационализации ее использования. Одним из путей достижения указанной цели является создание новых видов строительных материалов, более эффективных и дешевых по сравнению с традиционными. Можно с уверенностью сказать, что к этому направлению относится и развивающаяся технология сухих строительных смесей.

Целями технологий с применением сухих смесей являются:

высокий уровень качества и его стабильность,

легкая переработка продуктов при высокой производительности труда,

оптимизация затрат на транспортировку и использование стройматериалов,

достижение свойств продукции, согласованных с методами строительных работ и требованиям к готовым объектам.

Следует отметить, что за рубежом, в том числе в ФРГ, Франции, Финляндии и в других странах 90% от общего объема применяемых бетонных и растворных смесей составляют сухие смеси.

В настоящей работе рассмотрены виды сухих строительных смесей, сырьевые материалы и требования к ним, методы определения показателей качества, некоторые теоретические аспекты оптимизации составов, технология производства и применения в условиях строительной площадки. Особое внимание обращено на методы модификации сухих строительных смесей полимерными добавками и модификаторами отечественного производства.

Книга может быть рекомендована для работников промышленности строительных материалов, строительства, научных сотрудников и студентов строительных специальностей.

## 1. ВИДЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Сухие строительные смеси (ССС) – это порошкообразные композиции, состоящие из минерального вяжущего или полимерного связующего, наполнителей и заполнителей, добавок (модификаторов, полимеров противоморозных, красителей и т.п.), приготавливаемые в заводских условиях. На месте производства работ СССР только разбавляются водой до заданных водовяжущего отношения или консистенции и употребляются в соответствии с их областью применения.

Целесообразность использования сухих смесей, как материала полной заводской готовности, подтверждена зарубежной и отечественной практикой строительства.

В России производство и применение модифицированных сухих смесей в строительстве только начинает развиваться, о чем свидетельствуют низкий объем потребления смеси на душу населения, составляющий менее 2 кг/чел. в год, что значительно меньше, чем в передовых западных странах (в Германии – около 30 кг/чел., в Финляндии и Швеции – около 20 кг/чел., в Венгрии и Польше – 23 кг/чел.). Большая часть применяемых в России модифицированных сухих смесей поставляется в готовом виде из-за рубежа.

Ведущим предприятием данной специализации является производственный комплекс в Москве (ОЗСС), производящий в настоящее время 52 вида смесей и 250 оттенков цветовой гаммы в объеме 100 тыс. т смесей в год. Кроме этого, в России эксплуатируются порядка 10 заводов на зарубежном оборудовании с производительностью 10...50 тыс. т смесей в год. Лидером в СНГ по выпуску модифицированных сухих смесей стала Республика Беларусь.

Область применения сухих смесей обширна: выполнение бетонных, штукатурных, кладочных, плиточных работ, устройство покрытий полов, заделка стыков.

Мировой и отечественный опыт использования сухих смесей, показал их высокую эффективность и преимущества по сравнению с традиционными методами проведения работ:

повышение производительности труда в 1,5-5 раз в зависимости от вида работ, механизации, транспортировки и т.д.;

снижение материалоемкости по сравнению с традиционными технологиями в 3-10 раз в зависимости от видов работ (плиточные работы – в 7 раз, выравнивание стен и полов – в 10 раз);

стабильность составов и, как следствие, повышение качества строительных работ;

длительность срока хранения без изменения свойств и расходование по мере необходимости;

возможность транспортирования и хранения при отрицательной температуре.

В настоящее время в мире выпускается широкая номенклатура сухих смесей для различных видов строительных работ. Как показала строительная практика последних лет, сухие смеси нашли применение во всех отраслях промышленности, связанных с применением вяжущих веществ. Классификация наиболее распространенных сухих модифицированных смесей представлены на рис. 1.1 /1/

## СУХИЕ СМЕСИ

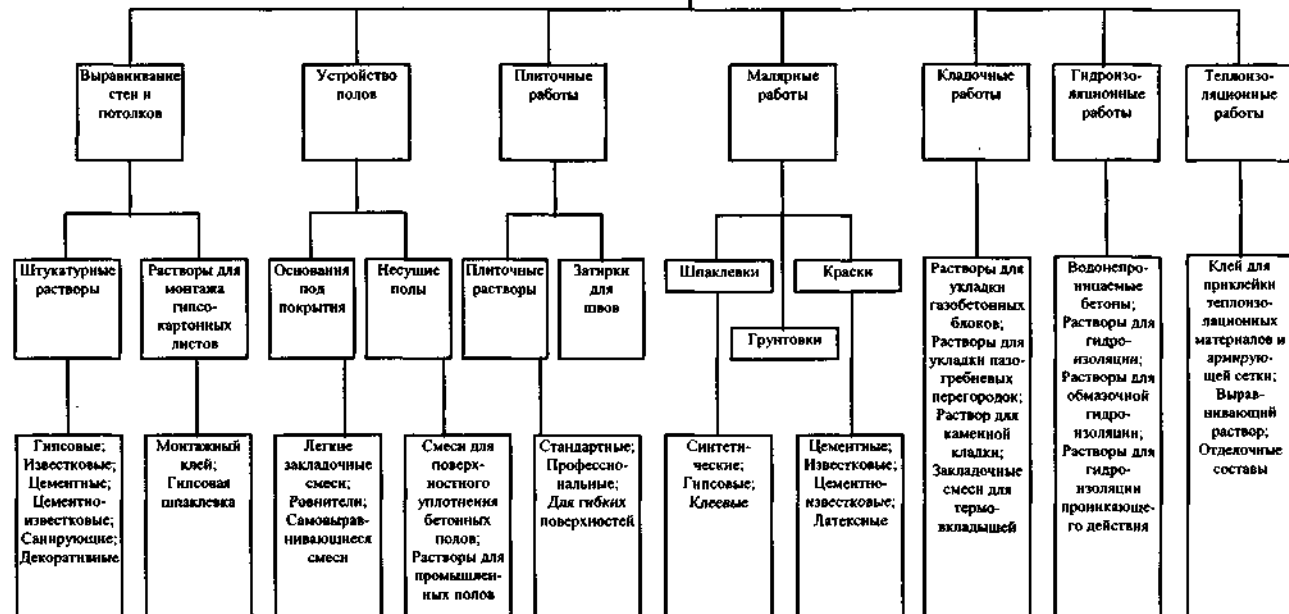


Рис. 1.1. Классификация сухих модифицированных смесей для различных видов работ

## 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Для приготовления ССС необходимо использовать материалы обеспечивающие получение как на стадии применения, так и конечного продукта (растворных и клеевых швов, штукатурных покрытий, наливных полов и т.п.) с комплексом заданных технологических и эксплуатационных свойств. Кроме того для решения данной задачи необходимо обеспечить требуемые однородность состава, условия хранения и технологию применения.

Основные виды исходных материалов для ССС приведены в табл. 2.1

Таблица 2.1

Материалы для приготовления ССС

Вяжущие	Наполнители и заполнители	Химические добавки
Портландцемент, белый цемент, гипс, ангидрит, известь, глиноземистый цемент, диспергируемые полимерные порошки	Кварцевый песок, известняк, мел, доломит, перлит, каолин, микрокремнезем, зола-унос, волокна (фибра), пигменты, легкие заполнители (керамзит, вспученный вермикулит и перлит, пемза и др.)	Пластификаторы, стабилизирующие и водоудерживающие, диспергируемые полимерные порошки, замедлители, ускорители, загустители, порообразующие и антивспенивающие добавки, гидрофобизаторы

В табл. 2.2 приведены нормативные документы на основные виды материалов для приготовления ССС.

Таблица 2.2

**Нормативные документы на материалы для ССС**

Материал	ГОСТ или ТУ
Портландцемент или шлакопортландцемент	ГОСТ 10178-85
Глиноземистый цемент	ГОСТ 969-91
Белый портландцемент	ГОСТ 965-89
Известь строительная	ГОСТ 9179-77
Гипсовые вяжущие	ГОСТ 125-79
Песок для строительных работ	ГОСТ 8736-93
Вода для затворения смесей	ГОСТ 23732-93
Щебень и гравий	ГОСТ 8735-88
Гравий, щебень и песок искусственные пористые	ГОСТ 9757-90
Пластифицирующие добавки: порошкообразный суперпластификатор С-3 сухой пластификатор ЛСТ	ТУ 6-36-020429-625 ТУ 13-0281036-05-89
Добавки, ускоряющие схватывание и твердение: сульфат натрия хлорид кальция	ГОСТ 6318-77 ГОСТ 450-77
Противоморозные добавки: поташ нитрит натрия	ГОСТ 10690-73Е ГОСТ 19906-74Е

В табл. 2.2 не вошло применяемое в качестве вяжущего жидкое или растворимое стекло, что связано с отсутствием опыта его использования в ССС. Между тем жидкое стекло широко применяется в химстойких и жаростойких конструкциях. ВНИИЖелезобетон разработал клеевые композиции для омоноличивания ячеистобетонных стеновых панелей на основе жидкого стекла, которые были применены при строительстве жилых домов в микрорайоне "Жулебино" (г. Москва). /2/

Для выпуска жидкостекольных ССС в настоящее время не существует принципиальных препятствий.

Работы по получению гидратированных растворимых высокомодульных порошков были проведены в ЛТИ им. Лен-

совета /3/. Рентгеноаморфные порошки силиката натрия с модулем до 3,5 были получены распылительной сушкой или сушкой в тонких слоях при температуре до 120°C. Порошки легко растворялись с образованием растворов, содержащих 25%  $\text{SiO}_2$ , если содержание воды при сушке остается не ниже 17%. При меньшем содержании воды в порошке необходим был подогрев в процессе растворения.

Температура воздуха при распылительной сушке может быть поднята гораздо выше, что позволяет сократить время сушки и тем самым размеры сушильной камеры. Температура сохнущего материала на выходе сушилки, если содержание воды остается не ниже 17%, не поднимается выше 120°C. Растворение порошков при комнатной температуре при массовом отношении порошка и воды 1:3 дает жидкие стекла, по свойствам не отличающиеся от жидких стекол, полученных в производственных условиях растворением силикат-глыбы.

Выпускаемый в России гидратированный силикат натрия производится по ТУ 6-18-161-82 под названием "метасиликат натрия". Он отвечает формуле  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  и представляет собой мелкокристаллический порошок белого цвета с серым оттенком, плавится при температуре 40-80°C, легко растворим в воде. Массовая доля  $\text{Na}_2\text{O}$  (общая щелочность в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$ ) в таком продукте составляет не менее 20,5;  $\text{SiO}_2$  – более 19,0;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (в пересчете на  $\text{CO}_2$ ) – не более 1,2; полуторных оксидов ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – не более 0,2. Общая влажность метасиликата натрия не должна превышать 59%. Основная область применения такого метасиликата натрия – производство синтетических моющих средств.

В России большой объем кладочных и штукатурных работ производится в зимнее время. Поэтому правильный выбор противоморозных добавок для ССС имеет важное практическое значение.



В табл. 2.3 приведены виды противоморозных добавок выпускаемых в России. /4/

Таблица 2.3

Противоморозные добавки, применяемые в России

Добавка	Сокращенное название	Формула
Хлорид натрия	ХН	$NaCl$
Хлорид кальция	ХК	$CaCl_2$
Поташ	П	$K_2CO_3$
Нитрит натрия	НН	$NaNO_2$
Мочевина (карбамид)	М	$CO(NH_2)_2$
Нитрат кальция	НК	$Ca(NO_3)_2$
Нитрит-нитрат кальция	ННК	$Ca(NO_2)_2 + Ca(NO_3)_2$
Нитрит-нитрат кальция+мочевина <sup>1</sup>	ННК+М или ННКМ	$Ca(NO_2)_2 + Ca(NO_3)_2 + CO(NH_2)_2$
Нитрит-нитрат-хлорид кальция <sup>2</sup>	ННХК	$Ca(NO_2)_2 + Ca(NO_3)_2 + CaCl_2$
Нитрит-нитрат-хлорид кальция+мочевина <sup>3</sup>	ННХКМ	$To же + CO(NH_2)_2$
Комплексная соль нитрата кальция с мочевиной или их механическая смесь <sup>4</sup>	НКМ, НК+М	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4CO(NH_2)_2$ , $Ca(NO_3)_2 \cdot CO(NH_2)_2$

<sup>1</sup> Соотношение между нитритом и нитратом кальция (по массе) 1:1±10%, ННК к мочевиной (по массе) от 3:1 до 1:1.

<sup>2</sup> Соотношение между нитрит-нитратом кальция и хлоридом кальция (по массе) 1:1.

<sup>3</sup> Соотношение между нитрит-нитрат-хлоридом кальция и мочевиной (по массе) от 3:1 до 1:1.

<sup>4</sup> Соотношение между нитратом кальция и мочевиной (по массе) от 3:1 до 1:1.

Большинство этих веществ производится и для других целей; только такие продукты, как нитрит-нитрат кальция и нитрит-нитрат-хлорид кальция, применяются специально как добавки и выпускаются химической промышленностью по техническим условиям, согласованным со строителями.

Введение в ССС добавок в процессе из заводского изготовления и последующего транспортирования и хранения предъявляет к добавкам дополнительные требования к гигроскопичности. В табл. 2.4 представлены данные по сорбционному увлажнению (гигроскопичности). /5/

Из представленных добавок наибольшей гигроскопичностью обладает хлористый кальций. Сухая соль сульфата натрия и нитрит натрия на воздухе устойчивы.

Таблица 2.4

**Сорбционное увлажнение химических добавок**

Наименование добавки	Сорбционное увлажнение, %				
	3 сут.	7 сут.	10 сут.	14 сут.	28 сут.
1. Пластифицирующие добавки: С-3 ЛСТ	1,25 1,79	1,32 1,91	1,50 1,91	1,50 1,91	1,50 1,91
2. Добавки-ускорители процесса твердения: хлористый кальций сульфат натрия нитрит натрия	10,4 0,04	15,90 0,04	16,32 0,04	16,58 0,04	16,58 0,04
3. Противоморозные добавки: поташ хлористый натрий нитрит натрия	3,90	3,95	3,99	4,06	4,06
				Не гигроскопичен	Не гигроскопичен
				Не гигроскопичен	Не гигроскопичен

В качестве заполнителя в штукатурных растворах следует применять песок для строительных работ с модулем крупности от 1 до 2. Содержание зерен размером свыше 2,5 мм в песках, применяемых в штукатурных растворах, не допускается. В растворах для отделочного слоя не допускается наличие зерен песка крупностью свыше 1,25 мм.

Песок и зола, применяемые для приготовления раствора, не должны содержать смерзшихся комьев размером более 1 см, а также льда. При подогреве песка его температура должна быть не выше 60°C.

Для легких растворов в качестве заполнителя следует применять пористые вспученные пески (вермикулитовые, перлитовые, керамзитовые, шунгизитовые, из шлаковой пемзы, аглопоритовые, золу-унос, зольный компонент золы гидроудаления золошлаковой смеси).

Для декоративных растворов могут применяться различные заполнители, например, мытые кварцевые пески и крошка дробленых горных пород (гранитная, мраморная, керамическая, угольная, пластмассовая) крупностью зерен не более 2,5 мм. Для цветных штукатурок, используемых на фасадах, в интерьерах, допускается применять гранитную, стеклянную, керамическую, угольную, сланцевую, пластмассовую крошку размером частиц 2...5 мм.

Неотъемлемым компонентом современных ССС являются полимерные добавки, вводимые с целью повышения адгезии, деформативности, водонепроницаемости и т.д. ( ). Однако в России полимерные добавки, за исключением карбоксилметилцеллюлозы КМЦ (ОСТ 6-05-386) в порошкообразном состоянии практически не выпускаются. Введение полимерных добавок в ССС в виде дисперсий с водой затворения непосредственно на строительном объекте существенно снижает эффективность ССС.

Наряду с влажными преимуществами (отсутствие токсичных компонентов, пожаровзрывобезопасность, высокая концентрация целевого компонента) работа с полимерными дисперсиями вызывает и ряд затруднений. Это водные системы и с ними можно работать при температуре выше 0 °C; для хранения и транспортировки необходима герметичная тара во избежание пролива или высыхания.

Поэтому в составах ССС получили распространение полимерные порошкообразные добавки, выпускаемые за рубежом.

Их готовят распылительной сушкой обычных латексов, в которые введены специальные добавки, предотвращающие слипание латексных частиц в процессе производства и при разведении водой.

В табл. 2.4 приведены основные виды полимерных порошкообразных добавок, выпускаемых зарубежными фирмами для ССС.

## Порошкообразные полимерные добавки для ССС /7/

Фирма	Марка	Состав полимера	МТП °C	Насып- ная плот- ность, кг/м <sup>3</sup>	Содер- жа- ние зола, %
Dow Chemical Co	DLP 100	ПВА	18	500-600	1-3
	DLP 100-120	винилацетат с винилверсататом	3-4	450-550	8-12
	DLP 210	винилацетат с этиленом	0	375-475	8-12
	DLP 550	стирол-акрилат	0	450-550	8-12
Hoechst	Movilith LDM 200P-2020P	винилацетат с винилверсататом	0	330-650	
	Movilith LDM 2040P	винилацетат с винилверсататом	12	350-550	
	Movilith LDM 2072P	винилацетат с винилверсататом, акрилатом	0	400-600	
	Movilith LDM 117P-1140P	винилацетат с этиленом	0	350-550	
	Movilith LD 4650P	ПВА	18	450-650	
Rohm & Haas	Drycryl DP 2904	Полиакрилат (94-96%) с ПВА (2-3%)	5	400	
	Vinavil T 01 P	ПВА			
	Vinavil T 05	винилацетат с винилверсататом		500	
	PA-E 06 PA Vinavil E 07- 5603P	винилацетат с этиленом	0	500	
Rhone- Poulenc	Rhodopas PAV 710	винилацетат с винилверсатом	2	450-600	
	Rhoximat PAV 27	винилацетат с винилверсатом	5	450-600	
Wacker Chemie	Vinnapas	Смесь ПВА с сополимером винилацетата и этилена	0		

Фирма	Марка	Состав полимера	МТП °С	Насып- ная плот- ность, кг/м <sup>3</sup>	Содер- жа- ние зола, %
Elotex	Более 20 ма- рок	ПВА, винилаце- тат с винилвер- сататом, винила- цетат с этиле- ном, винилаце- тат с винилвер- сататом и акри- латом, винила- цетат с этиленом и винилхлори- дом	0-18		

В табл. 2.4 не вошли данные продукции австрийской фирмы WALOCEL выпускающей широкий набор порошков на базе метилцеллюлозы.

Поскольку растворные смеси, получаемые из ССС, укладываются, как правило, на пористые основания (кладочные и монтажные растворы, плиточные клеи и т.д.), то в данном случае одним из существенных технологических показателей качества является водоудерживающая способность. Традиционными добавками, обеспечивающими водоудерживающую способность растворов, являются воздушная известь и глина. В ССС в этом качестве используется поливиниловый спирт (ГОСТ 10779-78).

Химические добавки вводимые в ССС, не должны вызывать вредных последствий в период эксплуатации зданий (разрушения материалов, коррозии арматуры, высолов и т.п.). Количество добавки устанавливают опытными замесами в лабораториях.

### 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СУХИМ СТРОИТЕЛЬНЫМ СМЕСЯМ

Ввиду многообразия ССС технические требования к ним зависят от их назначения (кладочные и штукатурные растворы, плиточные клеи, шпатлевки и т.д.) и формулируются в соответствующих нормативных документах.

На строительные растворы распространяется ГОСТ 28013-89.

Основными показателями качества растворной смеси являются: подвижность, водоудерживающая способность, расслаиваемость, средняя плотность.

В зависимости от подвижности растворные смеси подразделяют на марки:  $P_{к4}$ ,  $P_{к8}$ ,  $P_{к12}$ , и  $P_{к14}$ .

Водоудерживающая способность свежеприготовленной растворной смеси, определяемая в лабораторных условиях, должна быть не менее:

90% - для растворных смесей, приготовляемых в зимних условиях;

95% - для растворных смесей, приготовляемых в летних условиях.

Водоудерживающая способность растворной смеси, определяемая на месте производства работ, должна быть не менее 75% водоудерживающей способности, установленной в лабораторных условиях.

Расслаиваемость свежеприготовленной растворной смеси должна быть не более 10 %.

Отклонение средней плотности растворной смеси в сторону увеличения допускается не более 10% от установленной проектом. При применении воздухововлекающих добавок снижение плотности не должно превышать 6%.

Составы растворных смесей должны подбираться таким образом, чтобы обеспечить получение растворных смесей с заданными свойствами при наименьшем расходе вяжущего.

Сухие растворные смеси, изготовленные в заводских условиях, должны иметь влажность, не более 0,1% по массе.

При приготовлении растворных смесей дозирование вяжущих и заполнителей должно производиться по массе, а воды и добавок в жидком виде – по массе или по объему и корректироваться при изменении свойств, входящих в состав растворной смеси материалов. Погрешность дозирования не должна превышать:

$\pm 2\%$  - для вяжущих, воды, сухих добавок, рабочего раствора жидких добавок;

$\pm 2,5\%$  - для заполнителей.

Дозирующие устройства должны отвечать требованиям ГОСТ 10223. Температура растворов, применяемых в зимний период, должна быть не менее  $9^{\circ}\text{C}$ . Вода для затворения растворов должна иметь температуру не более  $80^{\circ}\text{C}$ , а с добавками полимеров и метилцеллюлозы - не более  $70^{\circ}\text{C}$ .

Растворные смеси должны готовиться в смесителях циклического или непрерывного типа, гравитационного или принудительного действия.

Основными показателями качества раствора являются: прочность при сжатии, морозостойкость, средняя плотность.

Прочность раствора характеризуют марками по прочности на осевое сжатие в возрасте 28 суток. Марку прочности раствора на осевое сжатие назначают и контролируют во всех случаях. Для раствора установлены следующие марки по прочности при сжатии: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200.

Для растворов, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию, в увлажненном состоянии в конструкциях зданий и сооружений назначают и контролируют марки по морозостойкости: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100. Растворы должны удовлетворять требованиям по морозостойкости, установленным проектом.

По средней плотности растворы подразделяют на: тяжелые (со средней плотностью менее  $1500 \text{ кг/м}^3$  и более), легкие (со средней плотностью менее  $1500 \text{ кг/м}^3$ ). Отклонение средней плотности раствора допускается не более 10 % от проектного.

Основные технические требования к плиточным клеям в достаточной степени сформулированы в стандарте ДИН 18-156 (ФРГ). К ним относятся:

наибольшее зерно (остаток на сите по ДИН 4188-2 не должен превышать 0,5%);

прочность на отрыв склеенной системе (не менее 5 МПа);

образование засыхающей пленки (не ранее 10 мин);

налипание клея (не менее 65%);

сползание плитки (не более 0,5 мм);

время для корректировки – открытое время (не менее 10 мин).

Особое место в номенклатуре ССС занимают шпатлевки. Это вязкие массы, предназначенные для заполнения неровностей и исправления дефектов отделяемых поверхностей, эксплуатируемых в атмосферных условиях и внутри помещений.

Показатели качества шпатлевок определяются в соответствии с ГОСТ 10277-90. К ним относятся цвет, внешний вид, условная вязкость, способность шлифоваться, прочность при ударе.

Вышеуказанный ГОСТ распространяется на шпатлевки, приготовляющиеся на полимерных связующих. При этом вязкость таких композиций определяется на вискозиметрах типа ВЗ (ВЗ-2, ВЗ-4). Для шпатлевок на минеральных вяжущих условную вязкость целесообразно определять на вискозиметре Суттарда согласно ГОСТ 125-80.

**Способность шлифоваться** производят без применения воды шлифовальной шкуркой зернистостью 4-6 по ГОСТ 6456.

**Стекание** определяют на одном образце – пластинке. При этом шпатлевочная композиция не должна стекать с вертикально поставленной пластинки.



#### 4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Показатели качества ССС определяются в зависимости от их назначения. Так для строительных растворов испытания регламентированы ГОСТ 5802-86, которые проводятся как на стадии растворных смесей, так и на стадии затвердевшего растворного камня.

**Подвижность растворной смеси.** Удобообрабатываемость свежеприготовленной растворной смеси характеризуется маркой по подвижности ( $P_k$ ), определяемой по глубине погружения в эту смесь эталонного конуса.

Основная часть прибора для определения подвижности (рис.4.1) – эталонный стальной конус 2 высотой 145 мм, диаметром основания 75 мм и массой  $(300 \pm 2)$  г. В центре основания конуса закреплен стержень 5, свободно перемещающийся во втулках штатива 6. Винтом 3 конус можно закрепить на требуемой высоте. К штативу прикреплена шкала 4, по которой фиксируется перемещение конуса.

Среднюю пробу растворной смеси объемом не менее 3 л перед испытанием интенсивно перемешивают в течение 30 с и переносят в стальной сосуд 1 в форме усеченного конуса высотой 180 мм, диаметром верхнего основания 250 мм, нижнего – 150 мм. Сосуд наполняют смесью на 1 см ниже его краев. Смесью в сосуде штыкуют 25 раз стальным стержнем диаметром 12 мм, длиной 300 мм и встряхивают со-

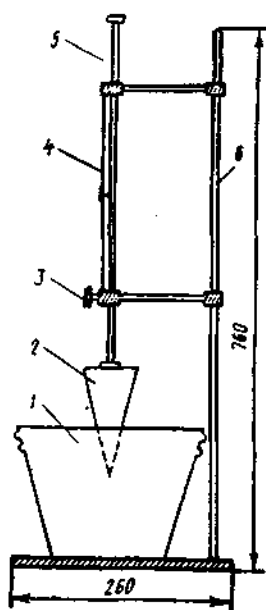


Рис. 4.1. Прибор для определения подвижности растворной смеси:

1 – сосуд; 2 – конус; 3 – винт; 4 – шкала; 5 – стержень; 6 – штатив

суд 5...6 раз легким постукиванием о стол. Поверхность конуса 2 очищают от загрязнений и протирают влажной тканью.

Далее сосуд с растворной смесью устанавливают на плиту прибора так, чтобы острие конуса 2 попало в центр верхнего основания сосуда 1. Затем конус опускают до соприкосновения с растворной смесью, закрепляют опорный винт 3 и снимают первый отсчет по шкале. После этого быстро отпускают опорный винт и дают конусу свободно опуститься в раствор. По окончании погружения снимают второй отсчет по шкале.

Глубину погружения конуса определяют как разность между вторым и первым отсчетами. Подвижность растворной смеси вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух определений глубины погружения конуса на разных пробах растворной смеси в показаниях при этом не должна превышать 20 мм.

Марка по подвижности	Глубина погружения конуса, см
$P_k 1$	от 1 до 4 включительно
$P_k 2$	выше 4 до 8 включительно
$P_k 3$	свыше 8 до 12 включительно
$P_k 4$	свыше 12 до 14 включительно

**Средняя плотность растворной смеси.** Определение средней плотности растворной смеси производят в стальном цилиндрическом сосуде вместимостью  $1000^{+2} \text{ см}^3$  (рис.4.2). Перед испытанием сосуд взвешивают ( $m_p$ ) с погрешностью до 2 г. Затем его наполняют с некоторым избытком растворной смесью, которую уплотняют штыкованием стальным стержнем 25 раз и пяти-шестикратным легким постукиванием о стол. После уплотнения избыток смеси срезают линейкой вровень с краями сосуда. Стенки сосуда протирают, удаляя прилипшую

растворную смесь, и сосуд взвешивают ( $m_1$ ) с погрешностью до 2 г.

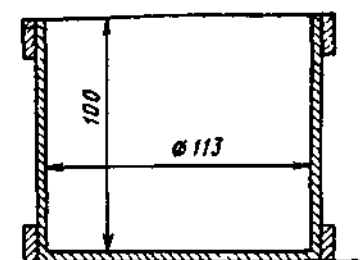


Рис. 4.2. Прибор для определения средней плотности растворной смеси

Среднюю плотность пробы растворной смеси  $\rho_m$  (кг/м<sup>3</sup>) определяют по формуле

$$\rho_m = \left[ \frac{(m_1 - m_0)}{1000} \right] \cdot 1000. \quad (4.1)$$

За среднюю плотность растворной смеси принимают среднее арифметическое значение результатов двух определений на различных пробах смеси (расхождение значений средней плотности проб не должно превышать при этом 5%; в противном случае проводят третье испытание).

**Водоудерживающая способность растворной смеси.** Этот показатель растворной смеси оценивают по количеству воды, отсасываемой из пробы растворной смеси промокающей (фильтровальной) бумагой на специальном приборе (рис.4.3).

Перед испытанием (ГОСТ 6246-82) 10 листов промокающей бумаги размером 150x150 мм взвешивают ( $m_1$ ) с погрешностью до 0,1 г, укладывают на стеклянную пластину такого же размера и накрывают марлевой тканью размером 250x350 мм. Сверху на ткань устанавливают стальное кольцо (рис.4.3,а) и все устройство взвешивают ( $m_3$ ). Далее тщательно перемешанную растворную смесь укладывают в металлическое кольцо 1 вровень с краями и взвешивают ( $m_4$ ). Через 10 мин металлическое кольцо с растворной смесью вместе с тканью 2 осторожно снимают с промокающей бумаги 3. Бумагу взвешивают ( $m_2$ ) с погрешностью до 0,1 г.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяют по снижению относительного содержания воды в пробе  $\Delta B$  (%) в ходе испытания (10 мин) по формуле

$$\Delta B = \left[ \frac{(m_2 - m_1)}{(m_4 - m_3)} \right] \cdot 100. \quad (4.2)$$

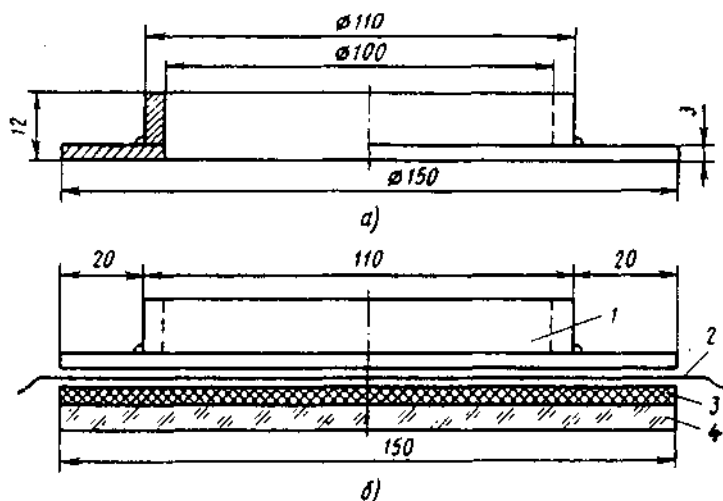


Рис. 4.3. Приспособление для определения водоудерживающей способности раствора смеси:

*а* – металлическое кольцо для раствора; *б* – схема сборки приспособления; 1 – кольцо с раствором смеси; 2 – марлевая ткань; 3–10 слоев промокательной бумаги; 4 – стеклянная пластина

Водоудерживающую способность раствора смеси определяют дважды для каждой пробы раствора смеси и вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся не более, чем на 20% от меньшего значения.

**Прочность раствора при сжатии.** Испытание выполняют на образцах-кубах размером 70,7x70,7x70,7 мм в возрасте, установленном ГОСТом или ТУ на данный вид раствора. На каждый срок испытания изготавливают три образца.

Из раствора смеси подвижностью менее 5 см образцы готовят в формах с поддоном. Форму заполняют в два слоя, уплотняя каждый слой 12 нажимами шпателя (6 вдоль одной из сторон и 6 в перпендикулярном направлении). Избыток раствора срезают и поверхность раствора заглаживают.

Из растворной смеси подвижностью 5 см и более образцы-кубы готовят в формах без поддона. Форму устанавливают на кирпич, предварительно покрытый смоченной водой непроклеенной бумагой, например, газетной. Кирпич применяют керамический, влажностью не более 2% и водопоглощением 10...15% по массе. Форму заполняют растворной смесью за один прием с некоторым избытком, уплотняя смесью 25 нажимами стального стержня диаметром 12 мм. Избыток раствора срезают и поверхность раствора заглаживают. Повторное использование кирпича в качестве отсасывающего воду основания не допускается.

Формы, заполненные растворной смесью на гидравлических вяжущих, выдерживают до распалубки в камере нормального твердения при температуре  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности  $(65 \pm 10)\%$ .

Образцы освобождают из форм через  $(24 \pm 2)$  ч после формования и верхнюю грань нумеруют трудно стираемой краской. Образцы, изготовленные из медленно твердеющих растворов, могут быть освобождены из форм в возрасте 2...3 сут. После освобождения из форм образцы хранят при температуре  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , соблюдая следующие условия:

образцы из растворов на гидравлических вяжущих в течение первых трех суток хранят в камере нормального твердения при относительной влажности воздуха 95...100%, а оставшееся до испытаний время – в помещении при относительной влажности воздуха  $(65 \pm 10)\%$  (из растворов, твердеющих на воздухе) или воде (из растворов, твердеющих во влажной среде); если камера нормального твердения отсутствует, то образцы можно хранить во влажном песке или опилках;

образцы из растворов, приготовленных на воздушных вяжущих, хранят в помещении при относительной влажности воздуха  $(65 \pm 10)\%$ .

При хранении в помещении образцы защищают от сквозняков и действия нагревательных приборов.

Образцы испытывают на гидравлическом прессе, марку которого выбирают из условия, что разрушающая нагрузка на

образец должна составлять не менее 20 и не более 80% от максимальной нагрузки пресса. Перед испытанием образцы осматривают, измеряют и взвешивают, занося данные в журнал испытаний для расчета средней плотности. Образцы, хранившиеся в воде, вынимают из воды не ранее чем за 10 мин до испытания и вытирают влажной тканью. Образцы, хранившиеся в помещении, очищают волосяной щеткой от пека и пыли.

При испытании образец устанавливают в центр нижней плиты пресса так, чтобы к плите пресса прилегала грань образца, бывшая при формировании боковой. Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно с постоянной скоростью, обеспечивающей рост напряжений в образце 0,2...1 МПа в секунду (для стандартного образца 70,7x70,7x70,7 мм нагрузка должна расти со скоростью 10...50 кН в секунду). Достигнутое в процессе испытания максимальное усилие принимают за разрушающую нагрузку. Предел прочности при сжатии для каждого образца рассчитывают по формуле (3.14) (п. 3.8). Предел прочности раствора при сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов-кубов.

**Влажность раствора.** Для определения влажности раствора образцы после их испытания на сжатие дробят до крупности отдельных кусков не более 5 мм, перемешивают и отбирают усредненную пробу массой 100...150 г. Пробу помещают в стеклянный сосуд, взвешивают с погрешностью не более 0,5% и в сосуде переносят в сушильный шкаф. Пробу высушивают до постоянной массы при температуре 105...110°C (для гипсовых растворов при температуре 45...55 °C). Влажность раствора  $W$  (%) вычисляют по формуле (3.7) (п. 3.4).

**Средняя плотность раствора.** Определение средней плотности затвердевшего раствора производят при его естественной влажности (или при другой влажности, установленной стандартом) на стандартных образцах по методике, описанной в п. 3.2. Среднюю плотность вычисляют с погрешностью не более 1 кг/м<sup>3</sup> как среднее арифметическое результатов определения средней плотности трех образцов одной серии.

Среднюю плотность раствора в сухом состоянии  $\rho_m^{сух}$  (кг/м<sup>3</sup>) вычисляют по формуле

$$\rho_m^{сух} = \left( \frac{\rho_m^W}{W + 100} \right) \cdot 100, \quad (4.3)$$

где  $W$  — влажность раствора, %;

$\rho_m^W$  — средняя плотность раствора при этой влажности, кг/м<sup>3</sup>.

**Водопоглощение раствора.** Водопоглощение затвердевшего раствора определяют как на образцах-кубах 70,7х70,7х70,7 мм, так и на образцах произвольной формы по методике, описанной в п. 3.4. Образцы взвешивают через каждые 24 ч насыщения в овде с погрешностью не более 0,1%. Испытания проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут отличаться не более чем на 0,1%. Водопоглощение образца раствора по массе  $W_m''$  (%) вычисляют по формуле (3.8).

**Морозостойкость раствора.** Для испытания на морозостойкость изготавливают шесть образцов кубов 70,7х70,7х70,7 мм, из которых три образца подвергают замораживанию и оттаиванию, а остальные служат контрольными. Образцы, подлежащие замораживанию, насыщают водой в течение 48 ч и помещают в холодильную камеру при температуре -16...-20°C. Испытание производят по методике, описанной в п. 3.5. После каждых пяти циклов испытаний производят контрольный осмотр образцов и его результаты заносят в журнал. Если поверхность двух из трех образцов имеет видимые разрушения, то испытания на морозостойкость прекращают.

Если количество циклов замораживания и оттаивания не задано испытания продолжают, пока потеря массы образцов не достигнет 5%.

После окончания испытаний образцов на морозостойкость определяют их прочность на сжатие. Контрольные образцы испытывают на сжатие перед началом испытания основных образцов на морозостойкость, предварительно насытив их водой в течение 48 ч. У образцов, прошедших испытания на морозостойкость и имеющих повреждения граней, перед ис-

пытанием на прочность поврежденные грани выравнивают быстротвердеющим составом слоем не более 2 мм. допускаемая потеря прочности образцов на сжатие после испытания на морозостойкость — не более 25%, а потеря массы — не более 5%.

**Прочность на отрыв в склеенной системе.** Склеенная система представляет собой клеевое соединение "бетонная плита - керамическая плитка". Бетонная плита должна иметь размеры 50х50х4 см. Поверхность плиты должна иметь шероховатость. Прочность бетона на растяжение должна быть не менее 15 МПа. Площадь приклеиваемой плитки не должна превышать 25 см<sup>2</sup>. Если площадь плитки превышает указанную величину, то ее разрезают на образцы квадратной формы размером 5х5 см.

Плиточный клей приготавливается в следующем порядке. Количество воды затворения указывает изготовитель ССС. Далее заливается вода в лабораторный смеситель и засыпается сухая смесь. В течение 1 мин раствор перемешивается со скоростью 1 об/с. На 15 с раствор оставляют в покое. Далее раствор перемешивается в течение 15 с.

Приготовленный плиточный клей наносится на бетонную подложку тонким слоем с помощью шпателя. На этот слой наносится достаточно толстый слой раствора, который разравнивается зубчатым шпателем 6х6х6 мм под углом 60°. На этот слой раствора накладываются плитки или образцы плитки и прижимаются на 30 с грузом 10 Н. Условия выдерживания перед испытанием приклеенных плиток указываются изготовителем ССС в зависимости от условий эксплуатации.

Для проведения испытания склеенной системы на поверхность керамической плитки с помощью эпоксидного клея укрепляется стальная пластинка 50х50 мм толщиной не менее 5 мм с анкером для захвата, и склеенная система отверждается не менее 8 часов при комнатной температуре.

Нагружение проводится на установке для испытания на растяжение, обеспечивающей фиксацию силы в момент растяжения.



**Образование засыхающей пленки.** Растворная смесь из исследуемой ССС с помощью зубчатого шпателя с вырезом 6х6х6 мм наносится на бетонную подложку. В течение 30 мин с интервалом 5 мин к нанесенному зубчатым шпателем раствору прикладывают вату и прижимают ее на 30 с с усилием 5Н. Через 24 часа куски ваты снимают и измеряют время, при котором произошло отчетливое уменьшение сцепления ваты с раствором. Определение проводится по 3 образцам.

**Налипание клея.** Проверяемый клеевой состав наносится на бетонную подложку зубчатым шпателем, описанным выше. На этот слой состава через 10 мин после нанесения накладывают стеклянную пластинку размером 150х150х5 мм и в течение 30 с прижимают ее усилием 50Н, после чего пластинку отделяют от клеевого слоя. С помощью планиметра на пластинке определяют площадь налипшего состава и определяют ее процентное отношение к общей площади пластинки.

**Время для корректировки (открытое время).** В соответствии с разделом "Прочность на отрыв в склеенной системе" на бетонную плиту 3 керамических плитки приклеиваются исследуемым составом. Через 10 мин плитки в клеевом слое поворачивают на 90° и сразу же возвращают их в исходное положение. После регламентированного времени выдерживания склеенной системы на 3-х плитках определяют прочность на отрыв.

**Сползание плитки.** В соответствии с разделом "Прочность на отрыв в склеенной системе" проверяемый клеевой состав наносится на бетонную плиту. Через 10 мин на нанесенный клеевой состав накладывается керамическая плитка размером 150х150 мм и на 30 с усилием 50 Н, затем бетонная установка устанавливается вертикально и через 10 мин измеряют сползание плитки под действием собственного веса с точностью 0,1 мм. Далее на верхний торец плитки прикладывается нагрузка, равная 3 Н и через 1 мин измеряется сползание (рис.4.4). Определение проводится по 3 образцам. При этом сползание не должно превышать 0,5 мм.

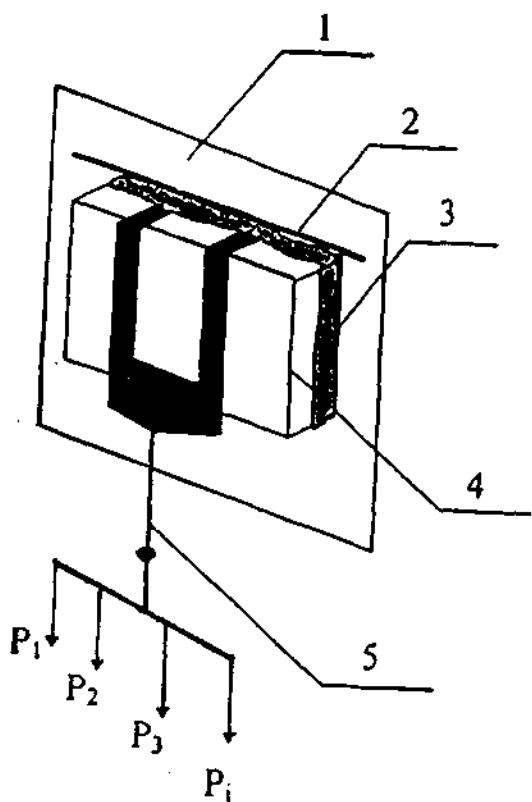


Рис. 4.4. Установка для определения сползания плитки:  
 1 – пластмассовый кран; 2 – уровень фиксации; 3 – раствор; 4 – облицовочная плитка; 5 – устройство для нагружения

## 5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВОВ ССС

### 5.1. Адгезионная прочность

Области применения ССС свидетельствуют о том, что они являются, как правило, адгезивами. Это накладывает особенности на процесс оптимизации составов ССС.

Совместная работа склеиваемых элементов в конструкции зависит от монолитности их соединений, причем система является монолитной, если ее разрушение определяется потерей несущей способности склеиваемых элементов.

Монолитность адгезионных соединений в первую очередь определяется адгезивами с комплексом заданных свойств и структурой адгезионного соединения.

Несомненный интерес с точки зрения получения материалов с оптимальной структурой представляет "закон створа", разработанный Рыбьевым И.А. /9/ Получение материалов оптимальной структуры согласно "закону створа" не противоречит основным положениям полиструктурной теории. /10/

Отмечено /11/, что проектирование составов адгезивов в том числе и на основе ССС должно подчиняться двуединой задаче. С одной стороны, они должны иметь высокие когезионные прочностные и деформативные свойства, что обеспечивается оптимальной структурой, а с другой стороны, они должны иметь высокие адгезионные свойства, что обеспечивается способностью и реологией адгезива.

Строительные растворы, применяющиеся в качестве кладочных, монтажных, штукатурных, ремонтных, клеевых (например, для приклеивания керамической плитки, штучных плит из природных каменных материалов) должны иметь отличия в свойствах по сравнению с композициями на основе минеральных вяжущих, применяющихся для изготовления искусственных каменных материалов, в том числе и штучных. Эти отличия заключаются в следующем:

поскольку строительные растворы укладываются на пористое основание, то они должны обладать водоудерживаю-

щей способностью для обеспечения процессов гидратации минерального вяжущего;

для обеспечения минимально возможной толщины и сплошности растворного шва, а также адгезии к подложке растворная смесь должна обладать пластичностью. Наибольшая крупность заполнителя не должна превышать 1,2 мм.

Сухие смеси должны обеспечивать строительным растворам заданные свойства.



Рис.5.1. Видны разрушений адгезионных соединений:  
1 – адгезив; 2 – субстрат

На рис.5.1 представлены три характерные схемы разрушения адгезионных соединений (при условии, что прочность подложки существенно превышает прочность адгезива): адгезионное (по границе "клей-поддержка", (а); когезионное (по клею или по подложке, (б,в); смешанное (г).

Следует отметить, что обеспечению монолитности адгезионного соединения в наибольшей степени соответствуют схемы разрушения, Б и В.

Формула Попова Н.А. /12/ показывает связь между когезионной прочностью строительного раствора на сжатие, структурой и качеством исходных материалов:

$$R_{28} = KR(C - 0,05) + 4, \quad (5.1)$$

где  $C$  – расход цемента;

$K$  – коэффициент, зависящий от качества песка;

$R$  – марка цемента.

Отметим, что адгезивы на основе ССС (кладочные растворы, плиточные клеи, штукатурные составы) в конструкциях работают, в основном, на сдвиг. Для цементных композиций  $R_{сд}$  составляет 15...20% от  $R_{28}$ .

Так для обеспечения монолитности адгезионных соединений на основе ССС можно принять, что адгезивы и адгези-

онные соединения являются материалами, структура которых формируется на микроуровне (адгезив) и макроуровне (адгезионное соединение).

Как отмечалось выше, необходимым условием обеспечения монолитности адгезионного соединения является:

$$R_{адз} > R_{коз}, \quad (5.2)$$

или адгезионная прочность суммируется из:

$$R_{адз} = R_1 + R_2, \quad (5.3)$$

где  $R_1$  — адгезионная прочность, обеспечиваемая силами физико-химического взаимодействия между подложкой и адгезивом;

$R_2$  — адгезионная прочность, обеспечиваемая силами механического сцепления адгезива и подложки.

Отметим, что составляющая адгезионной прочности  $R_1$ , обеспечиваемая силами физико-химического взаимодействия, для адгезивов на основе минеральных вяжущих формируется на двух стадиях:

пластического состояния (или теста),  
в процессе гидратации вяжущего.

В пластическом состоянии существенную роль в формировании адгезионных связей играет адсорбция воды на подложке, что является элементарным актом адгезии, обеспечивающим смачивание, формирование физического контакта и начальный этап адгезии через прослойку жидкости.

На второй стадии, обусловленной гидратацией вяжущего, происходит взаимодействие продуктов гидратации с материалами подложки.

Так адгезия цементного камня в значительной мере обуславливается взаимодействием образующегося при твердении этого адгезива гидроксида кальция с поверхностью различных субстратов. Так например, если в состав подложки входит кремнезем, то на поверхности раздела образуются гидросиликаты кальция. Алюмосиликаты кальция цементного камня химически взаимодействуют с субстратами из карбонатных пород. На поверхности раздела цементный камень-

сталь проходит взаимодействие между гидроксидом кальция и оксидами железа с образованием гидроферритов кальция /13/.

Однако вопрос о физико-химическом взаимодействии цементного камня и керамики остается открытым.

С этой целью нами были сняты рентгенограммы цементного камня (рис.5.2), керамического кирпича (рис.5.3) и цементного камня, наполненного порошком указанного кирпича (рис.5.4).

Отметим, что гидроксида кальция (портландцемента) характерны крупные тетраэдрические пустоты, в которые могут проникать атомы  $Si$ , а также более крупные ионы  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  с одновременной заменой трех гидроксильных групп тремя равнообъемными ионами  $O^{2-}$ . При этом образуются не твердые растворы внедрения, в которых атомы одного элемента не заменяются атомами другого элемента, а располагаются в промежутках между ними. /14/

На рентгенограммах этот процесс подтверждается искажением интенсивностей межплоскостных расстояний, характерных для  $Ca(OH)_2$  ( $d=4,93$ ;  $d=2,63$ ), что видно на рис.5.2 и на рис.5.4.

Интенсивность обычной кристаллической решетки  $Ca(OH)_2$  соответствует эталону, в то время как в системе "цементный камень – керамика" пик  $4,93\text{\AA}$  в 2 раза выше пика  $2,63\text{\AA}$ . Это подтверждает о внедрении ионов  $Al$ ,  $Fe$  и  $Si$  из керамики в кристаллическую решетку  $Ca(OH)_2$ .

На рис.5.5. представлен электронно-микроскопический снимок цементного камня, наполненного порошком кирпича, которые подтверждают аспект физико-химического взаимодействия цементного камня и керамики.

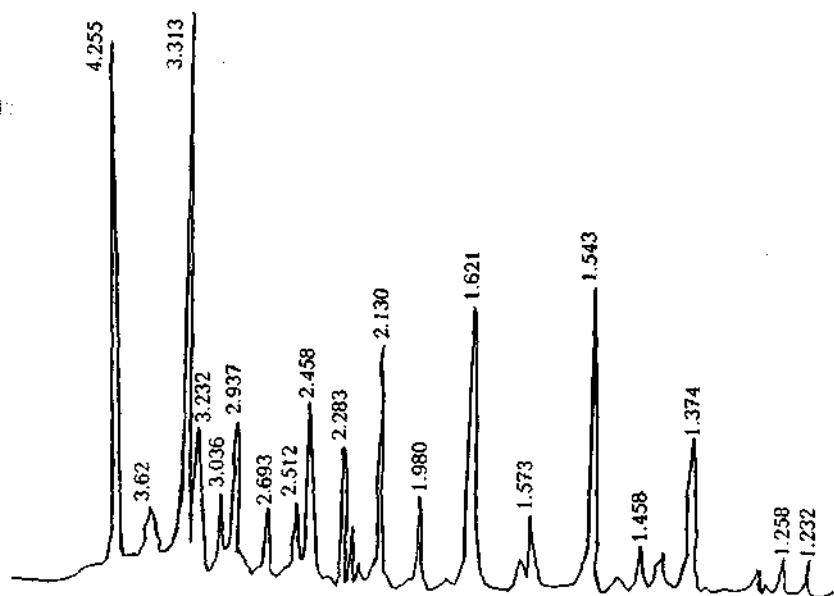


Рис.5.2. Рентгенограмма "цементный камень"

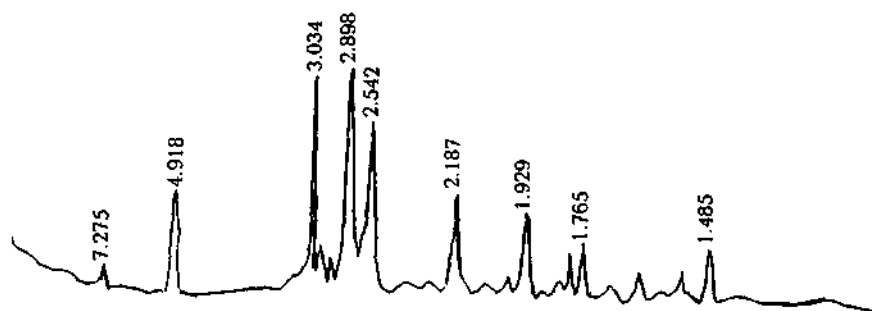


Рис.5.3. Рентгенограмма "кирпичный порошок"

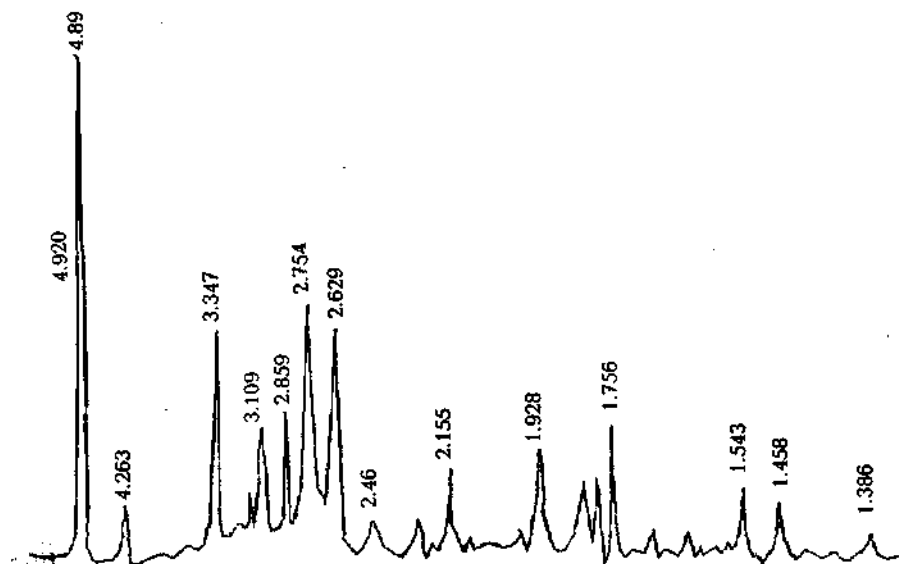


Рис.5.4. Рентгенограмма системы "цементный камень + керамический кирпич"

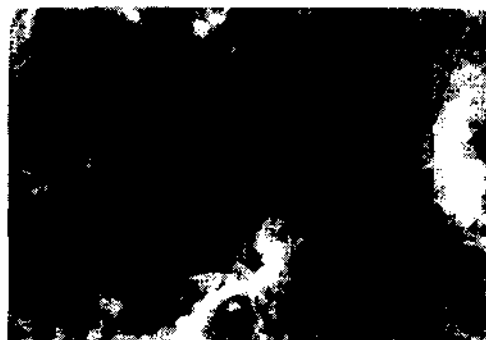


Рис.5.5. Адгезионное взаимодействие цементного камня и керамики

Для вариантов когезионного разрушения (рис.5 б,в) условие монолитности представим в виде:

$$R_{\text{раст}} < R_{\text{подл}} \text{ (рис.5.1 б),} \quad (5.4)$$

$$R_{\text{раст}} < R_{\text{подл}} \text{ (рис.5.1 в),} \quad (5.5)$$

где  $R_{\text{раст}}$  прочность раствора,  
 $R_{\text{подл}}$  прочность подложки.



Расчетная схема адгезионного соединения представлена на рис.5.6. Разрушение адгезионного соединения в соответствии с условием (5.5) должно происходить по сечению 1-1, в соответствии с условием (5.4) – по сечению 2-2. Отметим, что для адгезионных соединений на основе ССС является сдвиг.

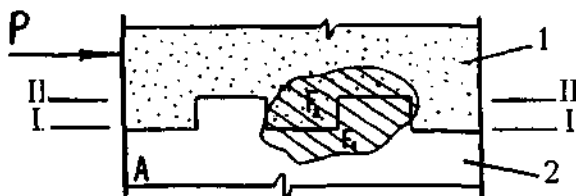


Рис.5.6. Расчетная схема адгезионного соединения:  
1 – адгезив; 2 – подложка

Рассмотрим условие равновесия адгезионного соединения в заштрихованной области *A* (рис.5.6). В случае, когда  $R_p > R_H$ , т.е. прочность раствора превышает прочность подложки, при обеспеченной монолитности плоскость разрушения должна пройти по сечению 1-1. Тогда напряженное состояние в заштрихованной области *A* запишем в виде:

$$\tau_{ad}F_1 + \tau_{II}F_2 < \tau_pF_1 + \tau_{ad}F_2, \quad (5.6)$$

где  $\tau_p$  – сопротивление сдвигу раствора (адгезива);

$\tau_{ad}$  – адгезионное сопротивление сдвигу;

$F_1, F_2$  – элементарные площадки сдвига;

$\tau_{II}$  – сопротивление сдвигу подложки.

После преобразования выражение (5.6) принимает вид:

$$\tau_p > \frac{\tau_{II}F_2 + \tau_{ad}(F_1 - F_2)}{F_1}. \quad (5.7)$$

Если прочность подложки выше прочности раствора, то разрушение происходит по сечению 2-2. Тогда напряженное состояние в заштрихованной области *A* запишем в виде:

$$\tau_{ad}F_2 + \tau_pF_1 < \tau_{II}F_2 + \tau_{ad}F_1. \quad (5.8)$$

После преобразования:

$$\tau_{\text{п}} > \frac{\tau_p F_1 + \tau_{\text{ад}}(F_2 - F_1)}{F_2} \quad (5.9)$$

Анализ полученных выражений (5.7) и (5.9) показывает, что существенную роль в обеспечении монолитности адгезионных соединений играет адгезионная прочность, обусловленная физико-химическим взаимодействием подложки и адгезива.

Для экспериментального подтверждения условия обеспечения монолитности адгезионных соединений керамической плитки для пола с цементно-песчаным раствором и полимерцементным раствором (составы 1 и 2).

Состав 1 изготавливается из портландцемента М400 и кварцевого песка с НК 1,25 (соотношение цемент/песок=1/2) при в/ц=0,6. Состав 2 отличался от состава 1 тем, что в него дополнительно для повышения адгезии вводилась поливинилацетатная дисперсия при п/ц=1/1. Особое внимание уделялось подготовке поверхности подложек. Для оценки адгезионной прочности, обусловленной физико-химическим взаимодействием, поверхности образцов плитки шлифовались. Поверхность необработанной плитки соответствовала классу 1-11 согласно СНиП 3.04.03-85. На группу других образцов фрезерованием наносились бороздки сечением 2x2 мм и шагом 5 мм.

Определение адгезионной и когезионной прочности проводились в возрасте 28 сут. Величина  $\tau_{\text{ад}}$  для состава 1 равнялась 7,4 МПа, для состава 2 – 8,1 МПа. Результаты прочностных испытаний адгезионных соединений представлены в табл. 5.1.

Анализ результатов, приведенных в таблице, подтвердил, что важнейшим фактором обеспечения монолитности адгезионных соединений является адгезионная прочность, обусловленная как физико-химическим взаимодействием, так и механическим зацеплением за счет шероховатости подложки.

## Результаты прочностных испытаний адгезионных соединений

Показатели	Под ложка	
	непрофилированная	профилированная
Предел прочности адгезива при сжатии, МПа	21,0/19,0	21,0/19,0
Предел прочности адгезива при сдвиге, МПа	5,4/6,2	5,4/6,2
Предел прочности подложки при сдвиге, МПа	6,6/6,8	6,6/6,8
Разрушающее напряжение при сдвиге, МПа расчетное опытное	5,4/7,1	6,6/7,26
	5,6/6,9	6,7/6,65
Характер разрушения	адгез/когез	когез/когез

Примечание: в числителе результаты по составу 1, в знаменателе – по составу 2.

## 5.2. Прочность адгезионных соединений со смешанным характером разрушения

Как отмечалось выше, высокая адгезионная прочность ССС, применяемых в качестве клеевых композиций, обусловлена наличием полимерных добавок в минеральном вяжущем. Но следует отметить, что применение к когезионному разрушению (по склеиваемому материалу, прочность склеивания  $\sigma$ ), но и по клеевому шву (адгезионное разрушение, прочность склеивания  $\tau$ ). Обычно расчет прочности клеевого соединения ведется по результатам адгезионного разрушения  $\tau$ . Нашей задачей является оценка прочности клеевого соединения с учетом результатов когезионного разрушения.

Условие адгезионного разрушения запишется в виде:

$$\tau < \sigma, \quad (5.10)$$

где  $\tau = \frac{P_{адг}}{S}$ ;  $\sigma = \frac{P_{ког}}{S}$ ;

$S$  - площадь склеивания.

Предположим, что истинные распределения по адгезионным и когезионным прочностям независимы и нормальны. Тогда их двумерное распределение (плотность вероятностей)  $p(\tau, \sigma)$  имеет вид:

$$p(\tau, \sigma) = S(\tau)p(\sigma), \quad (5.11)$$

где 
$$p(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}d_\tau} \cdot \exp\left[-\frac{(\tau - \tau_0)^2}{2d_\tau^2}\right],$$

$$p(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}d_\sigma} \cdot \exp\left[-\frac{(\sigma - \sigma_0)^2}{2d_\sigma^2}\right]. \quad (5.12)$$

Целью исследования является нахождение оценки для  $\tau_0$  - среднего значения адгезионной прочности по результатам испытания  $n$  образцов. Для этого найдем условное распределение адгезионной прочности  $\omega(\tau)$  (плотность вероятностей в эксперименте, при котором  $n \rightarrow \infty$ ). Согласно условию (1) число образцов, разрушившихся адгезионно при  $n$  испытаниях равно:

$$n_{\text{адз}} = n \int_{\sigma}^{\infty} d\tau \int_{\tau}^{\infty} p(\tau, \sigma) d\sigma. \quad (5.13)$$

Количество образцов, разрушившихся адгезионно в интервале при прочности  $[\tau, \tau + d\tau]$  равно  $nd\tau \int_{\tau}^{\infty} p(\tau, \sigma) d\sigma$ .

Тогда плотность условного распределения вероятностей  $\omega(\tau)$  имеет вид:

$$\omega(\tau) = \frac{\int_{\tau}^{\infty} p(\tau, \sigma) d\sigma}{\int_0^{\infty} d\tau \int_{\tau}^{\infty} p(\tau, \sigma) d\sigma}. \quad (5.14)$$

Аналогично условное распределение когезионной прочности  $\omega(\sigma)$  при  $n \rightarrow \infty$  имеет вид:

$$\omega(\sigma) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} p(\tau, \sigma) d\tau}{\int_0^{\infty} d\sigma \int_{-\infty}^{\infty} p(\tau, \sigma) d\tau}. \quad (5.15)$$

Подставляя (5.12) в (5.14), получим:

$$\omega(\tau) = \frac{1}{2C} p(\tau) \operatorname{erfc} \left[ \frac{\tau - \tau_0}{\sqrt{2d_\tau}} \right], \quad (5.16)$$

где  $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-t^2) dt$ ,

а нормировочный множитель  $C$

$$C = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} p(\tau) \operatorname{erfc} \left[ \frac{\tau - \tau_0}{2d_\sigma} \right] d\tau. \quad (5.17)$$

Перейдя к полярным координатам и сделав замену переменных, получим

$$C = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(a) = \frac{1}{2} [1 - \Phi(a)], \quad (5.18)$$

где  $a = \frac{\tau_0 - \sigma_0}{\sqrt{2(d_\tau + d_\sigma)}}$ ,

где  $\tau_0$  и  $\sigma_0$  - истинные значения  $\tau$  и  $\sigma$ ;  
 $d_\tau$  и  $d_\sigma$  - дисперсии  $\tau$  и  $\sigma$ ;

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \text{функция Лапласа.}$$

Вычислив математическое ожидание адгезионной прочности  $M_\tau$  как первый момент распределения  $\omega(\tau)$ :

$$M_\tau = \int_0^{\infty} \tau \omega(\tau) d\tau, \quad (5.18)$$

получим:

$$\tau_0 = M_r + d_r S(a) \sqrt{x}, \quad (5.20)$$

где  $x = 2(d_r + d_\sigma),$

$$S(a) = \frac{\Phi'(a)}{1 - \Phi(a)}.$$

Для определения адгезионной прочности (соединение "тяжелый бетон + керамическая плитка") клеевых композиций на основе ССС были проведены следующие испытания.

В качестве подложек изготавливались образцы-кубики со стороной 5 см. К кубикам клеевой композиции на основе ССС приклеивалась керамическая плитка на основе ССС (состав: портландцемент, полимерная добавка ПВАД, кварцевый песок, П/Ц=0,1...0,2). Склеенные образцы испытывались на раскалывание. При этом отмечались образцы разрушившиеся когезионно (по бетону) и адгезионно (по клеевому шву). Результаты приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

**Результаты определения адгезионной прочности**

Композиция, полимерцементное отношение	Кол-во образцов разрушившихся		Среднее значение $M_r$ , МПа	Дисперсии		Истинное значение $\tau_0$ , МПа	$\frac{\tau_0}{M_r}$ , %
	когезионно $n_\sigma$	адгезионно $n_r$		$d_\sigma$	$d_r$		
0,1	12	13	2,38	0,62	0,75	2,54	6,7
0,15	10	15	2,7	0,74	0,81	2,91	7,7
0,2	14	11	2,25	0,72	0,90	2,60	15,5

Из результатов, приведенных в табл. 5.2 следует, что учет характера разрушения клеевых соединений повышает среднее значение прочности клеевых соединений на 7÷15%.

### 5.3. Коэффициент монолитности

Выше отмечалось, что существенным преимуществом ССС является возможность обеспечения заданных свойств перечисленным адгезионным системам, в том числе одного из важнейших, а именно – монолитности.

Условие монолитности адгезионного соединения можно записать в виде:

$$\sigma \geq \sigma_{\text{мон}} \cdot M_{\text{мон}}, \quad (5.20)$$

где  $\sigma$  – прочность адгезионного соединения,  
 $\sigma_{\text{мон}}$  – прочность аналогичной монолитной конструкции,  
 $M_{\text{мон}}$  – коэффициент монолитности, определяемый в виде суммы:

$$M_{\text{мон}} = \sum_{i=1}^n (\eta_i \overline{\varphi_i}), \quad (5.21)$$

где  $\overline{\varphi_i}$  – коэффициент значимости  $i$ -го фактора, характеризующий удельный вклад данного фактора в прочность адгезионного соединения,

$\eta_i$  – коэффициент соответствия  $i$ -го фактора условию монолитности, определяемый из выражения:

$$\eta_i = \frac{R_i}{R_{\text{мон}}}. \quad (5.22)$$

Следует отметить, что адгезионная прочность, т.е. прочность границы "адгезив-подложка", определяется из выражения:

$$R_{\text{ад}} = R_{\text{мех}} + R_{\text{фх}}, \quad (5.23)$$

где  $R_{\text{мех}}$  – адгезионная прочность, обусловленная силами механического зацепления с шероховатостью подложки,

$R_{\phi x}$  - адгезионная прочность, обусловленная силами физико-механического взаимодействия адгезива и подложки.

При наличии  $R_{\phi x}$  прочность адгезионного соединения становится многофакторной. В нашем случае модуль упругости адгезива существенно не отличается от модуля упругости подложки. При этом факторами, влияющими на прочность адгезионного соединения, соответственно будут когезионная прочность адгезива и адгезионная прочность границы "адгезив-подложка". Уравнение регрессии многофакторной зависимости обычно получают методом математического планирования эксперимента./2/ Однако в нашем случае получение уравнения регрессии многофакторной зависимости прочности адгезионного соединения связано с трудностями экспериментального характера.

В настоящей работе была предпринята попытка получения многофакторной зависимости прочности адгезионного соединения на базе однофакторных зависимостей: "прочность адгезионного соединения - когезионная прочность", "прочность адгезионного соединения - адгезионная прочность. Многофакторную зависимость прочности адгезионного соединения напомним в виде полинома I порядка:

$$Z = C_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2, \quad (5.24)$$

где  $a_1$  определяется из одномерной функции  $R = f(R_{\text{коз}})$ , а  $a_2$  соответственно из одномерной функции  $R = f(R_{\text{адз}})$ .

При фиксированном факторе  $x_2 (x_2 = d_a)$  выражение (5.24) примет вид:

$$z = c_0 + a_1 x_1 + a_2 d_2 = (c_0 + a_2 d_2) + a_1 x_1 = c_1 + a_1 x_1. \quad (5.25)$$

При фиксированном факторе  $x_1 (x_1 = d_1)$  выражение (5.25) запишем в виде:

$$z = (c_0 + a_1 d_1) + a_2 x_2 = c_1 + a_1 x_1. \quad (5.26)$$

Из (5.25) и (5.26) получаем:

$$C'_0 = C_1 - a_2 d_2,$$



$$C_0'' = C_2 - a_1 d_1.$$

Если  $C_0' \neq C_0''$ , то  $C_0$  вычисляем как средневзвешенную величину:

$$C_0 = C_0' \frac{n_1}{n_1 + n_2} + C_0'' \frac{n_2}{n_1 + n_2}, \quad (5.27)$$

где  $n_1$  - число наблюдений в экспериментальной зависимости

$$R = f(R_{\text{коз}}), \text{ а}$$

$$n_2 - \text{соответственно в } R = f(R_{\text{адз}}).$$

Результатом проведенного исследования были подтверждены экспериментально. С этой целью было исследовано адгезионное соединение цементно-песчаного раствора с керамической плиткой пола, схема которого представлена на рисунке 5.6.

В нашем случае прочность плитки превышала прочность раствора. Если разрушение адгезионного соединения проходит по сечению 1-1, то монолитность можно считать обеспеченной, по сечению 2-2 (адгезионное разрушение) - не обеспеченной.

Состав 1 изготавливался из портландцемента М400 и кварцевого песка с НК1,25 (соотношение цемент : песок = 1: 2) при В/Ц = 0,48. Состав 2 отличался от состава 1 тем, что в него дополнительно для повешения адгезии вводилась поливинилацетатная дисперсия при П/Ц = 0,1.

Особое внимание уделялось подготовке поверхности подложек. Для оценки адгезионной прочности, обусловленной физико-химическим взаимодействием, поверхности образцов плитки шлифовались. На группу других образцов фрезованием наносились бороздки сечением 2х2 мм с шагом 5 мм. Определение адгезионной и когезионной прочности проводились в возрасте 28 сут. Величина  $\tau_{\text{ад}}$  для состава 1 равнялась 3,4 МПа, для состава 2 - 5,0 МПа.

Результаты экспериментальной оценки монолитности приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Показатели	Составы адгезивов	
	1	2
Предел прочности при сдвиге, МПа: адгезива подложки	5,4 8,8	6,2 8,8
Удельный вклад фактора, $\varphi_i$ : когезионного адгезионного	0,58 0,42	0,35 0,65
Коэффициент соответствия $\eta_i$ : когезионный адгезионный	1,0 0,54	1,0 0,94
Коэффициент монолитности	0,71	0,96
Характер разрушения	адгезионный	когезионный

Из данных, приведенных в табл. 5.3 можно сделать вывод, что на монолитность адгезионного соединения существенное влияние оказывает удельный вклад фактора  $\varphi_{ад}$ . Повышение его, например, путем введения полимерной добавки, существенно повышает коэффициент монолитности и, соответственно, изменяет характер разрушения адгезионного соединения.

#### 5.4. Напряженное состояние покрытий в процессе формирования

При нанесении на вертикальные поверхности отделочных составов (штукатурных и лакокрасочных), клеев, т.е. композиций, находящихся в жидкообразном состоянии при недостаточной оценке технологических факторов: средней плотности, реологических характеристик, адгезии наносимого слоя к поверхности, наблюдается сползание наносимых композиций. Обычно оценка перечисленных технологических факторов производится эмпирически.

В настоящей работе предпринята попытка дать численную оценку технологических параметров с учетом напряженного состояния на границе "покрытие-подложка". Задача решается в упругой постановке.

На рис.5.7 приведена расчетная схема задачи.

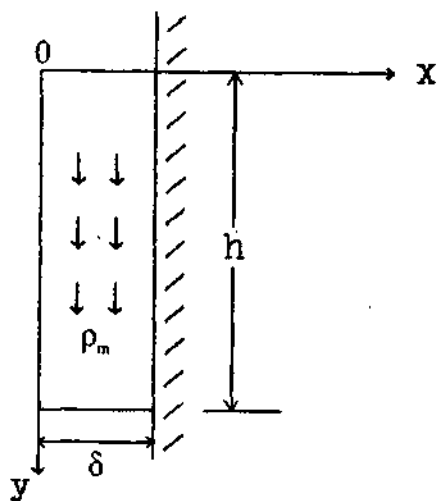


Рис.5.7.

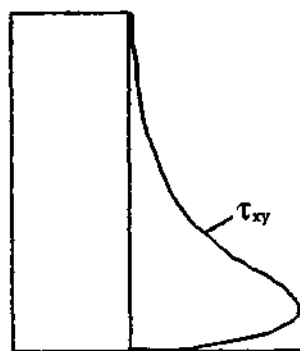


Рис.5.8.

Слой покрытия толщиной  $\sigma$  и высотой  $h$  жестко скреплен с подложкой по границе  $x = \sigma$ . Слой нагружен объемными силами  $\rho_m$ . На границе слоя возникают касательные напряжения, которые и удерживают в равновесии рассматриваемый слой. Известно, что в подобного рода задачах /1/ имеет место так называемый краевой эффект, заключающийся в пиковом характере напряжений вблизи угловых точек (рис.5.8).

Будем считать, что в рассматриваемом слое наблюдается плоское напряженное состояние, т.е. отличными от 0 будут напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ . Для решения плоской задачи применим известный метод целых полиномов /15/. В качестве функции напряжений возьмем полином следующего вида:

$$\phi(x, y) = ax^5y + bx^3y^3 + cx^4y + dx^2y^3 + ex^3y. \quad (5.28)$$

В соответствии с известными формулами /2/ получим выражения для напряжений:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 6bx^3y + 6ax^2y, \\ \sigma_y &= \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 20ax^3y + 6bxy^3 + 12cx^2y + 2dy^3 + 6exy, \\ \tau_{xy} &= -\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} - \gamma x = -5ax^4 - 9bx^2y^2 - 4cx^3 - 6dxy^2 - 3ex^2 - \gamma x.\end{aligned}\quad (5.29)$$

Из условия, что полином (5.28) должен удовлетворять бигармоническому уравнению:

$$\nabla^4 \phi = 0, \quad (5.30)$$

находим некоторые алгебраические соотношения между коэффициентами полинома:

$$c + d = 0, \quad (5.31)$$

$$5a + 3b = 0. \quad (5.32)$$

Напряжения (5.28) должны удовлетворять граничным условиям на границах слоя:

$$x = 0, \quad \sigma_x = \tau_{xy} = 0, \quad (5.33)$$

$$y = 0, \quad \sigma_y = \tau_{xy} = 0, \quad (5.34)$$

$$y = h, \quad \sigma_y = \tau_{xy} = 0. \quad (5.35)$$

Нетрудно проверить, что условия (5.33) и первое из условий (5.34) удовлетворяются тождественно, а остальные условия – нет. Попробуем удовлетворить этим условиям в интегральной форме, т.е. потребуем, чтобы выполнялись условия:

$$y = 0, h; \quad Q_x = \int_0^{\delta} \tau_{xy} dx = 0, \quad (5.36)$$

$$y = h, \quad N_y = \int_0^{\delta} \sigma_y dx = 0. \quad (5.37)$$

В этом заключается приближенность расчета.

Подставляя в (5.36) и (5.37) соответствующие выражения из (5.29), получим следующие алгебраические соотношения:

$$a\delta^3 + c\delta^2 + e\delta + \frac{\gamma}{2} = 0, \quad (5.38)$$

$$a\delta^3 + 3bh^2\delta + c\delta^2 + 3dh^2 + e\delta + \frac{\gamma}{2} = 0, \quad (5.39)$$

$$5a\delta^3 + 3bh^2\delta + 4c\delta^2 + 2dh^2 + 3e\delta = 0. \quad (5.40)$$

Решая совместно (5.31), (5.32) и (5.38)-(5.40), можно найти все пять констант, входящих в (5.28) и (5.29).

Решая совместно (5.38) и (5.39), находим:

$$b\delta + d = 0. \quad (5.41)$$

Выражая из (5.31), (5.32) и (5.41) константы  $a$ ,  $c$  и  $d$  через  $b$  и подставляя их в (5.40), получаем:

$$e = -\frac{b(h^2 + \delta^2)}{3}. \quad (5.42)$$

Используя очевидное условие малости толщины покрытия ( $\delta \ll h$ ), из (5.42) найдем:

$$e = -\frac{bh^2}{3}. \quad (5.43)$$

Используя (5.29), определим  $b$ , а затем и остальные константы:

$$a = \frac{9\gamma}{10h^2\delta}; \quad b = \frac{3\gamma}{2h^2\delta}; \quad c = \frac{3\gamma}{2h^2}; \quad d = -\frac{3\gamma}{2h^2}; \quad e = -\frac{\gamma}{2\delta}.$$

Окончательные выражения для напряжений будут иметь вид:

$$\sigma_x = \frac{9\gamma}{\delta h^2} (x^3 y - \delta x^2 y), \quad (5.44)$$

$$\sigma_y = \frac{3\gamma}{\delta h^2} (-6x^3 y + 3xy^3 + 6\delta x^2 y - \delta y^3 - h^2 xy), \quad (5.45)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\gamma}{\delta h^2} \left( \frac{9}{2} x^4 - \frac{27}{2} x^2 y^2 - 6\delta x^3 + 9\delta xy^2 + \frac{3}{2} h^2 x^2 - \delta h^2 x \right) \quad (5.46)$$

Как показывает анализ формулы (5.46), наибольшие касательные напряжения возникают в точке с координатами  $\left( x = \delta, y = h \right)$ , что не вполне согласуется с рис.5.7. Дело в

том, что поскольку нижняя грань ( $y = h$ ) не нагружена, то в силу закона парности касательных напряжений  $\tau_{xy}$  должны быть равны нулю и на правой грани вблизи данной точки. Это несоответствие обусловлено тем, что нам не удалось точно удовлетворить второму граничному условию из (5.35) (напомним, что оно удовлетворялось в интегральном виде). Однако, для оценки наибольших касательных напряжений полученный результат вполне допустим. Из (5.46) следует:

$$\tau_{xy}^{\max} = -4\gamma\delta. \quad (5.47)$$

Знак минус в этой формуле соответствует правилу знаков для касательных напряжений, принятому в теории упругости [15]. Как было отмечено в начале статьи, для оценки условия нахождения слоя покрытия в равновесии (отсутствии "сползания") можно воспользоваться неравенством:

$$\left| \tau_{xy}^{\max} \right| = 4\gamma\delta' < \tau_0. \quad (5.48)$$

Следует обратить внимание на то, что значения наибольших касательных напряжений не зависят от высоты слоя  $h$ , а зависят только от толщины слоя и средней плотности.

Отметим, что значения  $\tau_0$  суммируются из предельного напряжения сдвига  $\tau_{ad}$  - реологической характеристики и адгезионной прочности покрытия и подложки  $\tau_{cd}$ . Эти показатели покрытия определяются экспериментально. Напряженное состояние рассматриваемой адгезионной системы возможно при условии

$$\tau_{ad} > \tau_{cd}, \quad (5.49)$$

Тогда выражение (5.48) принимает вид:

$$\tau_{cd} \geq 4\rho_m \delta. \quad (5.50)$$

В таблице приведены расчетные значения толщин полимерцементных покрытий (из выражения (5.50) и предельные, полученные из эксперимента.

Таблица 5.4

№ состава	Компоненты состава	$\tau_{ад}$ МПа	$\tau_{сд}$ МПа	$\rho_m$ г/см <sup>3</sup>	Толщина покр.	
					расчетн.	факт.
1	цемент, кварцевый песок, ПВАД; п/ц=0,15; в/ц=0,42; цемент:песок=1:2	0,16	0,022	1,55	4,7	5,0
2	цемент, кварцевый песок, ПВАД; п/ц=0,2; в/ц=0,4; цемент:песок=1:3	0,18	0,031	1,64	4,6	4,8
3	цемент, керамзитовый песок, ПВАД; п/ц=0,2; в/ц=0,5; цемент:песок=1:2	0,17	0,034	1,25	5,3	5,4

Результаты, приведенные в таблице, свидетельствуют о достаточной сходимости экспериментальных и расчетных толщин полимерцементных покрытий.

### 5.5. Напряженно-деформированное состояние покрытия в эксплуатационный период

Адгезионные системы на основе ССС наносятся на жесткие подложки (поверхности бетонных или кирпичных стен). Поэтому твердение покрытия происходит при наличии адгезионной связи между покрытием и жесткой подложкой. Отметим, что минеральные вяжущие, как правило, входящие в состав ССС, в процессе гидратации и последующей карбонизации претерпевают усадочные деформации. Вследствие этого покрытие на основе ССС находится в плоско-напряженном со-

стоянии, учет которого необходим для воспрепятствования появлению трещин в покрытии.

Исследование напряженного состояния покрытия из ССС на бетонной подложке проводилось с помощью метода конечных элементов (МКЭ) [11].

Исследование напряженного состояния в таких конструкциях связано с решением объемной задачи. Считая  $\delta \ll l$  ( $\delta$  - толщина покрытия,  $l$  - длина) и пренебрегая усадкой в поперечном направлении, эту задачу с некоторой степенью точности можно считать двумерной.

Для решения плоской задачи теория упругости принимался прямоугольный совместный конечный элемент с линейными полями перемещения:

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy, \\ v &= \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 y + \alpha_8 xy, \end{aligned} \quad (5.51)$$

где  $u, v$  - перемещения точек элемента в направлении осей  $x$  и  $y$ ;

$\alpha_1 \dots \alpha_8$  - неизвестные коэффициенты, выражаемые через перемещения узлов элемента.

На контуры конечного элемента эти формулы создают линейное распределение перемещений, поэтому одинаковые перемещения двух соединений элементов в вершинах прямоугольников приводят к одинаковым перемещениям по всей линии соприкосновения смежных конечных элементов.

Отыскание перемещений узловых точек представляет собой стандартную процедуру МКЭ, связанную с решением системы уравнений:

$$R_z = \bar{P}, \quad (5.52)$$

где  $R$  - матрица жесткости ансамбля элементов с учетом геометрических граничных условий;

$\bar{z}$  - неизвестный вектор перемещений узловых точек;

$\bar{P}$  - вектор узловых нагрузок.



Найденные в результате решения системы  $\bar{z}$  дают возможность по (5.52) перейти к перемещениям внутри элемента, затем, используя зависимости Коши, найти деформации (по закону Гука) напряжения в любой точке конечного элемента.

Особенности применения МКЭ в рассматриваемой задаче состоит в построении вектора  $\bar{P}$ . В явном виде в нашем случае внешние нагрузки отсутствуют. Причиной возникновения собственных напряжений является стесненная усадка покрытия. Поэтому вектор  $\bar{P}$  формировался из условных нагрузок, приложенных к узлам, являющимся результатом уменьшения размеров каждого конечного элемента за счет усадки. Такой прием позволил с достаточной степенью точности имитировать процесс усадки покрытия и получить характер распределения напряжений.

Для реализации метода конечного элемента в нашей задаче был использован программный комплекс, составленный на языке PL/I.

В работе была использована клеевая композиция, имеющая следующие характеристики: модуль упругости  $E = 1,35 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25$  и конечную величину линейной усадки, равную  $5,2 \cdot 10^{-5}$ .

На рис.5.9 показана расчетная схема поверхностного слоя и полученные в результате реализации программы эпюры  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ .

Для практического использования эпюр нужно воспользоваться выражением:

$$\sigma_i = K_e \cdot K_\epsilon \cdot \sigma, \quad (5.53)$$

где  $K_e = \frac{E_i}{E}$ ;  $K_\epsilon = \frac{\epsilon_i}{\epsilon}$ ;  $E_i$ ,  $\epsilon_i$  - модуль упругости и усадка исследуемой композиции;  $E$ ,  $\epsilon$  - то же модельной композиции.

Из представленных материалов можно сделать вывод, что наиболее предрасположенными к разрушению являются

концевые зоны, для которых характерны концентрации напряжений.

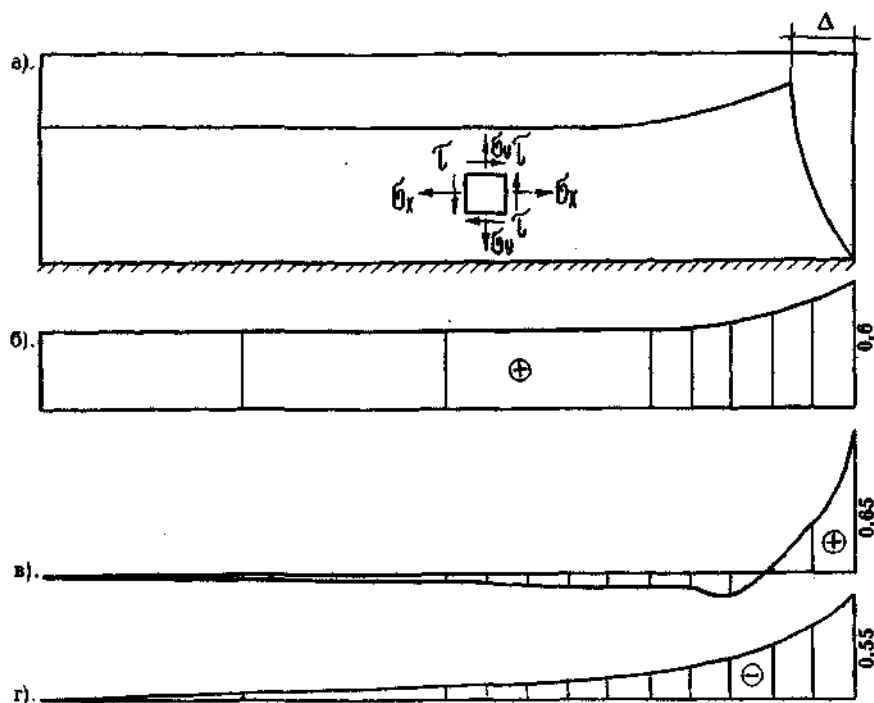


Рис.5.9. Расчетная схема и эпюры напряжений в поверхностном слое бетона:

а) расчетная схема; б) эпюра  $\sigma_x$ ; в) эпюра  $\sigma_y$ ; г) эпюра  $\tau$

## 6. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

### 6.1. Модифицированные вяжущие и добавки

Для получения строительного раствора с заданной удобоукладываемостью объем цементного теста на  $1 \text{ м}^3$  смеси должен составлять  $400...500 \text{ дм}^3$ . При таком расходе цемента получают очень прочный раствор. Между тем от строительных растворов требуется невысокая прочность –  $1...5 \text{ МПа}$ . Однако при низком расходе цемента снижается удобоукладываемость растворной смеси.

Поэтому для растворов применяется специальный кладочный цемент низких марок, получаемый путем совместного помола клинкера ( $25...30\%$ ) с большим количеством минеральных веществ, например известняка, доломита, доменного шлака. Однако такой цемент выпускается в небольших количествах.

В связи с этим для применения в ССС в Пензенской ГАСА были разработаны малоклинкерные смешанные вяжущие М200 - М300 с тонкодисперсными наполнителями, в качестве которых используются карбонатные и кремнеземистые породы и тонкодисперсные отходы нерудной промышленности. /16/

Экспериментально полученное смешанное малоклинкерное вяжущее М200 – М300 состоит из извести-пушонки, дисперсного наполнителя на основе кремнеземистых и карбонатных пород, цемента в количестве 40-50% в диатомитонаполненном вяжущем, 27-39% - опоконаполненном, 20-35% - карбонатнонаполненном. Соотношение извести-пушонки и минерального наполнителя в вяжущем составляет 1:4.

Водопотребность смешанного вяжущего, соответствующая тесту нормальной густоты, составляет 27-29% - для карбонатного и 38-93% - кремнеземистого наполнителей при наполнении цементом 10-50%.

На рис. 6.1 и 6.2 представлена кинетика набора прочности растворов на смешанных вяжущих, наполненных известня-

ком, опокой и диатомитом. Применение опоки в данном случае более предпочтительно, поскольку опока является активной минеральной добавкой.

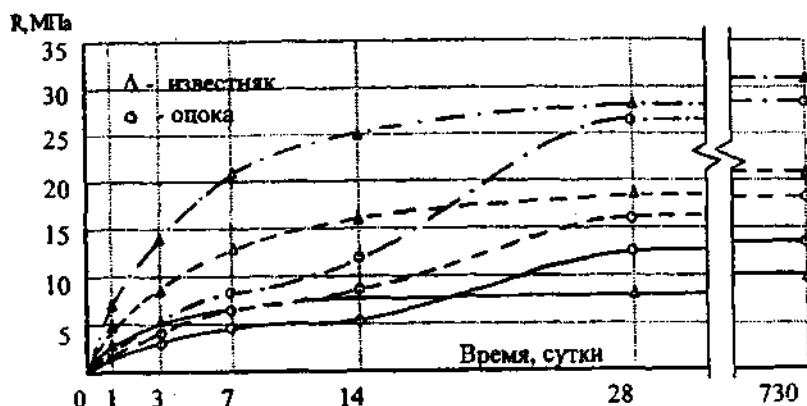


Рис.6.1. Кинетика набора прочности смешанного вяжущего:  
[ — ] — Ц = 10%; [ ---- ] — Ц = 20%; [ — · — ] — Ц = 30%

Ниже представлены параметры оптимизации состава сухих смесей и физико-механические свойства строительных растворов на их основе.

### Параметры оптимизации состава сухих смесей

Водовязущее отношение (В/В).....	0,6-1,4
Расход цемента Ц, %.....	10-50
Соотношение песка к вяжущему (П/В).....	2-6

### Реологические и физико-механические свойства строительных растворов на основе сухих смесей

Марка растворной смеси по подвижности .....	ПК4-ПК14
расплыв конуса на встряхивающем столике, мм .....	200-280
глубина погружения конуса Стройципла, см .....	1-14
Водоудерживающая способность, % .....	93-98
Расслаиваемость, % .....	1-10
Марка (класс) раствора по прочности.....	M50(B3,5)M150(B12,5)
Прочность в возрасте 28сут, МПа .....	3-15

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что, изменяя соотношение компонентов сухой смеси, можно

обеспечить необходимую кинетику нарастания прочности и конечную прочность строительных растворов для кладочных и штукатурных работ, соответствующую классам В3,5-В12,5; подвижность растворов при этом изменяется от 1 до 14 см, что охватывает весь диапазон используемых марок строительных растворов ПК4-ПК14 по ГОСТ 28013-89.

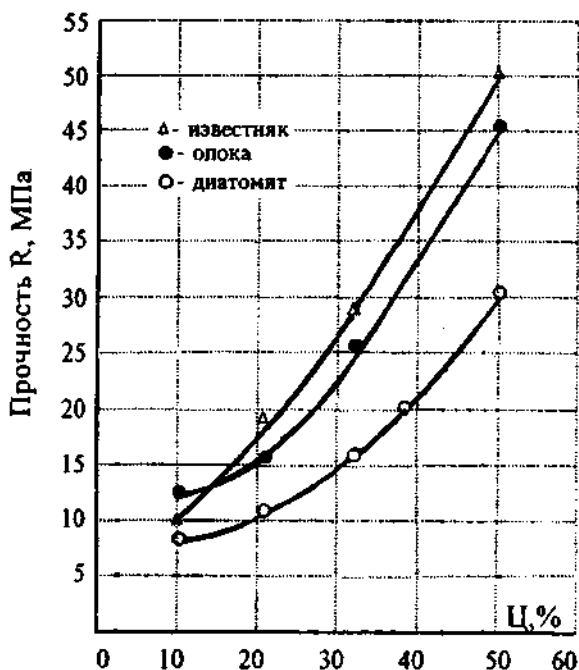


Рис.6.2. Прочность смешанного вяжущего на различных наполнителях в зависимости от содержания цемента

Строительные растворы на основе сухих смесей характеризуются повышенной водоудерживающей способностью и нерасслаиваемостью, что объясняется содержанием тонкомолотого кремнеземсодержащего компонента. Жизнеспособность растворов на основе сухих смесей составляет 12-36 ч.

В последнее время успешно внедряются вяжущие низкой водопотребности (ВНВ), получаемые помолем цемента до тонкости 4500...5000  $\text{см}^2/\text{г}$  в присутствии суперпластификатора, в частности С-3. /17/ При этом марочная прочность вяжущего по сравнению с исходным портландцементом возрастает в 1,5...2 раза. Но востребованность вяжущего такой высокой

прочности в массовой продукции является крайне редкой. Поэтому помол ВНВ производят совместно с такими порошкообразными минеральными материалами, как кварцевый песок или зола-унос. Зависимость прочности ВНВ от указанных на наполнителей является линейной, и поэтому можно легко определить количество наполнителя от заданной прочности (рис.5.12).

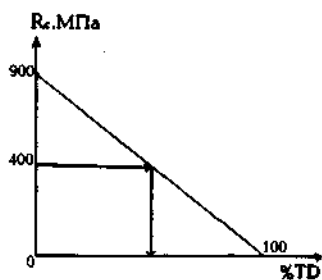


Рис.6.3. Зависимость прочности ВНВ от содержания тонкомолотой

Вяжущие низкой водопотребности имеют маркировку ВНВ-50, ВНВ-40, ВНВ-30, причем цифрами обозначено процентное содержание клинкера в вяжущем.

При введении суперпластификатора С-3 в бетон-

ные смеси с водой затворения его содержание не превышает 1% от массы цемента. В ВНВ суперпластификатор С-3 в порошкообразном состоянии вводится в количестве 2,5...3% от массы цемента.

Водопотребность ВНВ находится в пределах 15...18%. Сроки схватывания ВНВ существенно не отличаются от портландцемента. Однако активность ВНВ за одни сутки твердения в нормальновлажных условиях составляет 25...30 МПа.

На рис.6.4 представлены микроснимки сухого суперпластификатора С-3 (6.4 а) и его распределение на поверхности зерен цементного клинкера (6.4 б). При этом зафиксировано его точечное избирательное распределение в области микротрещин зерен цементного клинкера.

Такое распределение ПАВ на поверхности зерен цемента объясняет увеличение сроков схватывания ВНВ. Можно предположить, что взаимодействие цемента с водой замедляется в начальный период потому, что необходимо время на проникновение воды к микротрещинам, защищенным ПАВ на поверхности клинкера. Поверхность цемента, не имеющая трещин, реагирует с водой очень медленно. Но когда вода проникает к микротрещинам и растворяет частицы ПАВ, скорость взаимодействия воды с цементом резко возрастает. Этим

можно объяснить также и значительное снижение водопотребности ВНВ по сравнению с цементом.

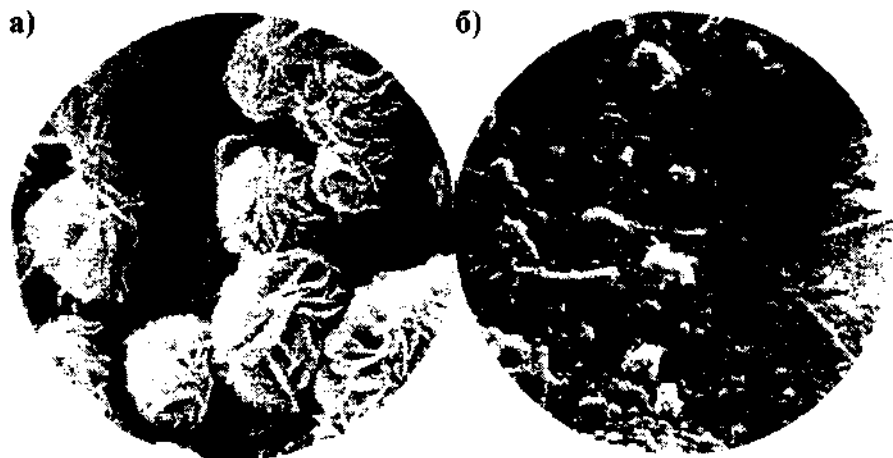


Рис.6.4. Структура суперпластификатора С-3 и его распределение на поверхности зерен клинкера:

а) Суперпластификатор С-3; б) Распределение С-3 на поверхности цементного клинкера

В технологии бетона минеральные микронаполнители традиционно рассматривались как компоненты, вводимые для предотвращения перерасхода цемента в низкомарочных бетонах. Для ориентировочных расчетов в этом случае принимается, что уменьшение активности цемента пропорционально увеличению количества микронаполнителей.

В качестве микронаполнителей широкое применение получили золы, шлаки, известняки, доломиты, кварцевые пески и многие другие. Предпочтение следует отдавать микронаполнителям, способным вступать во взаимодействие с продуктами гидратации цемента. Например, содержащий аморфный кремнезем, способный связывать гидроксид кальция, образующийся при гидратации цемента.

Одним из эффективных способов повышения прочности и стойкости бетонов является совместное применение пластифицирующих и кремнеземсодержащих добавок, которые взаимодействуют с гидроксидом кальция, и заполняют межзерновую пустотность цемента.

Следует отметить, что производство ВНВ представляется возможным, в основном, на цементных заводах, что, безусловно ограничивает область его применения. Если осуществить совместный помол кремнеземистой добавки и суперпластификатора, в частности С-3, то мы получим добавку комплексного действия.

При совместном помоле тонкомолотой добавки (ТД) и С-3 происходит равномерное распределение суперпластификатора по зерну ТД и повышается их реакционная способность за счет механохимического взаимодействия ТД. При перемешивании с цементом, поверхность микронаполнителя оказывает воздействие на прилегающие слои обмазки. За счет адсорбционных, молекулярных и капиллярных сил эти слои теряют подвижность, подобно тому явлению, которое наблюдается при адсорбции воды на поверхности твердого тела. Толщина зоны воздействия будет зависеть от вида и дисперсности микронаполнителя. Образовавшийся слой обмазки сохраняется при приготовлении бетонной смеси и создает условия для предотвращения процессов седиментации, и тем самым, уменьшая количество воды, имеющей физико-механическую связь, то есть уменьшается количество неактивной воды.

Тонкомолотая добавка раздвигает зерна гидратирующего цемента. Это приводит к тому, что в микрообъемах, образованных зернами цемента, будет находиться микронаполнитель, привлекающий большое количество воды, способной вступить во взаимодействие с цементом. Это содействует ускорению процессов гидратации. Зерна ТД создают поверхность, на которой могут располагаться гидратные новообразования, появляющиеся в результате гидратации через раствор особо дисперсных зерен клинкера. Они способствуют росту кристаллов гидратных соединений и их уплотнению. Зародыши кристаллов новообразований, образуемые на частицах исходного цемента, в результате их растворения смываются водой и оказываются в ней во взвешенном состоянии, что способствует организации случайной, структуры цементного камня.

Поэтому период формирования структуры бетона с добавкой ТД и С-3 имеет большую продолжительность.

Наиболее эффективными ТД являются кремнеземистые добавки, состоящие в основном из аморфных модификаций



кварца. Использование таких добавок также препятствует образованию плотных гидратных оболочек на зернах вяжущего за счет того, что ТД способны служить подложками для образующихся гидратов.

Между белитом и кремнеземистыми микронаполнителями происходит химическое взаимодействие. Сцепление между ними велико, что обуславливается химическим родством и близостью параметров кристаллических решеток. Кремнезем ТД способствует накоплению в системе гидросиликатных новообразований в результате взаимодействия с гидроксидом кальция.

Уменьшая изменение свободной поверхностной энергии между твердой и жидкой фазами за счет энергии поверхностного раздела, наполнитель существенно ускоряет кристаллизацию новообразований. Повышение темпа твердения цементных систем на основе тонкодисперсного вяжущего с кремнеземистыми добавками на ранней стадии также обусловлено увеличением скорости гетерогенных реакций, зависящей от концентрации вещества и его удельной поверхности.

Чтобы получить ССС с комплексом заданных свойств безусловным является неукоснительное соблюдение требований нормативных документов к качеству исходных материалов, методам подбора составов и технологии. Так в работе /19/, посвященной получению ССС для бетонов с повышенной водонепроницаемостью, отмечается, что многочисленные факторы, от которых зависит проницаемость бетона, можно разделить на две группы (рис.6.5):

качество исходных материалов,  
технология бетонных и железобетонных конструкций.

При этом следует отметить, что проницаемость бетона прежде всего зависит от расхода цемента. Он должен быть не менее  $300 \text{ кг/м}^3$ . Увеличение содержания песка от 1:0,5 до 1:3 снижает проницаемость цементно-песчаного раствора на 85%. Дальнейшее увеличение содержания песка до 1:4 повышает проницаемость раствора. Безусловным фактором снижения проницаемости бетонов является оптимальный зерновой состав заполнителей. За счет этого фактора удастся получать тяжелые бетонной с маркой по водонепроницаемости W12-W30 /20/.

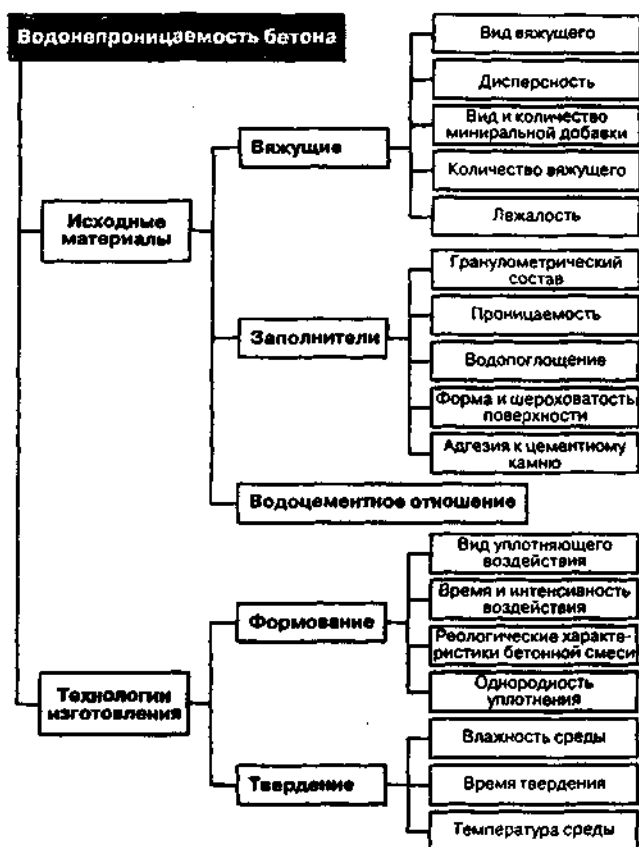


Рис.6.5. Классификация факторов, влияющих на водонепроницаемость бетона

## 6.2. Полимерные добавки

Существенным фактором повышения адгезии, деформативности, трещиностойкости является введение в композиции с минеральными вяжущими добавок полимеров. Такие композиции называются полимерцементными.

Полимерцементные материалы – большая группа материалов, получаемых на основе двух вяжущих веществ: минерального и полимерного. В качестве минерального вяжущего могут быть использованы гипсовые, магнезиальные и гипсо-

цементно-пуццолановые вяжущие, но наиболее часто — различные виды цемента.

Однако в полимерцементных материалах минерального вяжущего в несколько раз больше, чем полимерного связующего.

Полимерцементные материалы можно рассматривать как композиционные строительные материалы, основу которых составляет матрица затвердевшего минерального вяжущего с распределенным в ней в той или иной форме затвердевшим полимером.

В качестве полимерного компонента в полимерцементных материалах используют термопластичные полимеры (поливинилацетат, акриловые полимеры и др.) и каучуки, олигомерные термореактивные смолы (эпоксидные, карбамидные). Олигомерные и мономерные продукты в процессе твердения материала переходят в полимерные продукты под действием отвердителей, инициаторов или в результате воздействия температуры, pH среды и т.п.

Взаимное влияние минерального вяжущего и полимерного связующего приводит к образованию нового композиционного полимерцементного материала. У полимерцементных материалов обычно высокая адгезия к другим материалам (во много раз превышающая адгезию соответствующего минерального вяжущего), высокая износостойкость и стойкость к ударам. Полимерцементные материалы могут быть получены с высокой морозостойкостью, водонепроницаемостью, стабильно высокими диэлектрическими свойствами и многими другими специальными свойствами. Модуль упругости полимерцементных материалов снижается при увеличении содержания полимера.

Существенное влияние небольших количеств полимерного связующего на свойства материала объясняется структурными особенностями полимерцементных материалов, т.е. характером расположения полимера в матрице минерального вяжущего. Полимерное связующее образует упругие прослойки между кристаллическими новообразованиями минерального вяжущего, адсорбируется на поверхности частиц заполни-

теля и благодаря высоким адгезионным свойствам повышает прочность и деформативность материала при растяжении и изгибе. Часть полимера закрывает поры, снижая водопоглощение материала, повышая его морозостойкость и водонепроницаемость. Высокая адгезия полимерцементных смесей к другим материалам (например, полимерцементный раствор прекрасно сцепляется с поверхностью старого раствора) также объясняется присутствием в материале полимерного связующего, которое концентрируется на поверхности раздела "старый материал – полимерцементная смесь".

Следует отметить, что отечественные полимерные добавки, как правило, находятся в жидкообразном состоянии. При введении в процессе смешивания в ССС они должны находиться в порошкообразном состоянии.

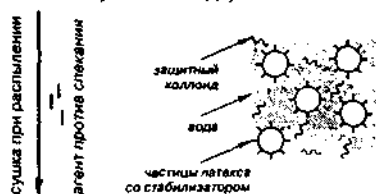
В разделе 2 (табл.2.4) приведены данные по порошкообразным полимерным добавкам для ССС.

Ниже приводятся принципы получения и применения диспергируемых полимерных порошков (ДПП), вводимых в ССС /21/.

Первой стадией производства ДПП является процесс получения полимерной дисперсией или латексом. На этой стадии мономеры, эмульгированные в воде (стабилизированы эмульгаторами или высокомолекулярными защитными коллоидами), взаимодействуют с инициаторами полимеризации для начала реакции эмульсионной полимеризации, в результате которой мономеры соединяются друг с другом и образуют длинномерные молекулы (макромолекулы) – полимеры.

Принципиальная схема производства ДПП, механизм диспергирования и образование пленки показаны на рис.6.5. В латексе стабилизаторы на поверхности частиц должны предотвращать коагуляцию и связанное с этим разрушение латекса. Добавление защитных коллоидов и противоспекающих агентов обеспечивает получение сыпучего порошка, способного диспергироваться в воде. Медленная сушка латекса или диспергирование приводит к образованию пленки. То же самое имеет место в строительном растворе во время испарения свободной воды, находящейся в порах.

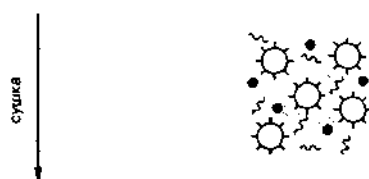
**ЛАТЕКС**  
(полимерные частицы  
стабилизированы в воде)



**ДПП**  
(сыпучий мелкодисперсный порошок)



**ДИСПЕРГИРОВАНИЕ**  
(порошок диспергируется в воде)



**ЛАТЕКСНАЯ ПЛЕНКА**  
(коагулированные частицы латекса)

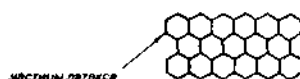


Рис.6.6. Принципиальная схема производства ДПП, механизм их диспергирования и образования пленки

Минимальная температура пленкообразования (МТП) является критическим параметром для ДПП. Только выше МТП латексные частицы подвижны, что обеспечивает образование однородной пленки. В процессе образования пленки подвижные латексные частицы переходят в новую фазу (пленку), которая способна выдержать достаточно высокие механические усилия. Очевидно, чтобы ДПП был способен образовать пленку в твердеющем растворе, необходима МТП ниже температуры приготовления модифицированного строительного раствора.

## 7. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ССС

### 7.1. Кладочные растворы

В качестве кладочных растворов могут быть использованы сухие строительные смеси марок 100 и 200, в состав которых вводят дополнительно кварцевый компонент до получения заданной марки. Чтобы сохранить удобоукладываемость таких растворных смесей при укладке на пористое основание, в них вводят неорганические и органические пластифицирующие добавки, повышающие способность растворной смеси удерживать воду.

Неорганические дисперсные добавки состоят из мелких частиц, хорошо удерживающих воду (известь, зола – унос, молотый доменный шлак, глина и т.п.).

Органические поверхностно – активные пластифицирующие и воздухововлекающие добавки вводят в растворные смеси в количестве 0,05...0,2% от массы вяжущего. Они улучшают удобоукладываемость растворных смесей, а также экономят вяжущее, повышают морозостойкость, снижают водопоглощение и усадку раствора.

На стройку кладочные растворы поступают в виде сухих смесей или готовых растворов определенной удобоукладываемости, марки и качества.

Для каменной кладки наружных стен зданий применяют растворы марок 10, 25, 50 в зависимости от влажностных условий и долговечности.

Поскольку значительный объем кладочных и монтажных работ выполняется в зимнее время, то проблема применения противоморозных добавок в ССС является весьма актуальной. Как отмечалось в разделе 2 противоморозные добавки для ССС должны находиться в порошкообразном состоянии и иметь минимальную гигроскопичность. Противоморозные добавки, применяющиеся в России, приведены в табл. 2.3.

С учетом областей применения противоморозные добавки можно разделить на две группы:

1. Добавки, понижающие температуру замерзания жидкой фазы бетона и принадлежащие к числу либо слабых ускорителей, либо замедлителей схватывания и твердения цемента. К ним относятся некоторые сильные электролиты, такие, как очень популярный в России нитрит натрия и хлорид натрия, слабые электролиты, например, водные растворы аммиака, не электролиты, вещества органического происхождения, например многоатомные спирты и карбамид.
2. Добавки, совмещающие в себе способность к сильному ускорению процессов схватывания и твердения цементов с хорошими антифризными свойствами. К ним относятся поташ, добавки на основе хлорида кальция – смеси хлорида кальция с хлоридом натрия, нитритом натрия, нитрит нитратом кальция, нитрит нитратом кальция и мочевиной и некоторые другие.

Кроме этих основных двух групп противоморозных добавок в отдельных случаях при зимнем бетонировании используют вещества со слабыми антифризными свойствами, но относящиеся к сильным ускорителям схватывания и твердения цемента, одновременно вызывающие сильное тепловыделение на ранней стадии твердения бетонной смеси и бетона. Эти добавки выбирают из числа тех, которые способствуют быстрому образованию плотной микрокапиллярной структуры цементного камня, например, сульфаты трехвалентного железа и алюминия. Масштабы их применения невелики, но они представляют определенный научный интерес.

Исследования Топильского Г.В. /22/ показали, что в качестве противоморозных добавок могут использоваться двуводный и полуводный гипс и фосфогипс в количестве 3...9% от массы цемента.

В табл. 7.1 приведены рекомендуемые дозировки противоморозных добавок. /4/

## Рекомендуемые количества противоморозных добавок

Расчетная температура твердения бетона, °С		Общее количество добавок, % к массе воды затворения							
		НН	ХК+ХН	НКМ. НК+М <sup>1</sup>	ННК <sup>2</sup>	НК+М, ННК+М <sup>3</sup>	ННХК <sup>4</sup> , ХК+НН <sup>5</sup>	ННХК М <sup>3</sup>	П
от	до								
0	-5	8	6+0...6+4	6	9	8	6	8	10
-6	-10	12	7+3...8+5	12	16	15	12	15	12
-11	-16	16	6+9...7+10	15	-	18	15	18	16
-17	-20	-	5+12...6+14	20	-	22	18	20	20
-21	-25	-	-	-	-	-	25	25	25-30

Из табл. 7.1 видно, что большинство противоморозных добавок многокомпонентно, т.е. относится к числу так называемых комплексных. Некоторые из них, например ННК и ННХК, выпускаются в России химической промышленностью в виде 25-35%-ых растворов.

## 7.2. Гидроизоляционные материалы

Воздействие воды на строительные материалы и конструкции можно с уверенностью отнести к агрессивным воздействиям. В связи с этим принципы гидроизоляции корреспондируются с принципами антикоррозионной защиты. /23/

Существующие методы герметизации зданий и сооружений можно разделить на две группы: первичные и вторич-

<sup>1</sup> Отношение мочевины к остальным компонентам (по массе сухого вещества) 1:1.

<sup>2</sup> Отношение нитрита кальция к нитрату кальция в ННК (по массе) 1:1.

<sup>3</sup> Отношение мочевины к остальным компонентам (по массе) 1:3.

<sup>4</sup> Отношение хлорида кальция к ННК в ННХК (по массе) 1:1.

<sup>5</sup> Отношение нитрита натрия к хлориду кальция (по массе) может изменяться от 1:1 до 3:1.



ные. Для первичной защиты в качестве гидроизоляции используются непосредственно ограждающие конструкции из бетона соответствующей водонепроницаемости.

При вторичной защите производится дополнительная – пропиточная, штукатурная, обмазочная – гидроизоляция ограждающих конструкций.

Первичная гидроизоляция применяется при новом строительстве, а вторичная – при реконструкции и ремонте.

На рис.7.1. приведены классификации ССС для гидроизоляционных работ.



Рис.7.1. Классификация сухих смесей для гидроизоляционных работ

Другим направлением для получения бетонов повышенной водонепроницаемости весьма перспективным является применение в качестве вяжущего расширяющегося или напрягающего цементов (НЦ). /24/

Отметим, что для гидроизоляции швов сборной отделки метрополитенов в течение нескольких десятков лет применяется композиция БУС, состоящая из смеси портландцемента, глиноземистого и гипсоглиноземистого цементов. /11/

Бетоны на основе НЦ являются практически водонепроницаемыми (W 12-20). Газонепроницаемость бетона на основе НЦ примерно в 40 раз меньше, чем тяжелого бетона на основе портландцемента.

Долговечность железобетонных конструкций на основе НЦ в условиях климата средней полосы России в значительной степени определяется высокой морозостойкостью (F 500 и более) - до 1500 циклов замораживания-оттаивания, благодаря своей мелкоячеистой структуре с замкнутыми порами бетоны

на НЦ в 3-6 раз повышает долговечность железобетонных конструкций.

Имея плотную мелкозернистую структуру, бетоны на основе НЦ обладают повышенной коррозионной стойкостью, в том числе в сульфатных средах. В силу высокой плотности бетоны на основе напрягающего цемента (смесь портландцемента и расширяющей добавки РД) обладают повышенной сульфатостойкостью и не требуют специальной защиты при содержании ионов  $SO_4^{2-}$  до 5000 мг/л, а также повышенной стойкостью к воздействию агрессивных сред.

Как отмечалось выше, первичная гидроизоляция выполняется из **бетона с повышенной водонепроницаемостью**.

В технологию сухих смесей заложено фракционирование песка и оптимальный подбор его по гранулометрическому составу, что дает возможность получать экономичные бетоны с повышенной водонепроницаемостью до W12 и отказаться от применения дорогостоящих химических добавок. /19/

На основании проведенного анализа в АНТЦ "АЛИТ" (Санкт-Петербург, ПГУПС) разработан состав сухой смеси для бетонов с повышенной водонепроницаемостью (СБВ-11) на основе портландцемента, который предназначен для возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений различного — назначения.

### Технические характеристики СБВ-11

Прочность, МПа	
при сжатии.....	450
при изгибе .....	5,3
Модуль упругости, ГПа .....	39
Марка водонепроницаемости, не ниже .....	W12
Марка морозостойкости .....	F200
Максимальная крупность заполнителя, мм .....	20

**Сухие смеси для проникающей гидроизоляции** представляют собой смесь портландцемента (белого цемента), специально обработанного заполнителя и химически активных веществ.

Принцип действия проникающей гидроизоляции основан на проникновении в бетон химически активных элементов по капиллярным порам, с последующим химическим взаимодействием со свободной известью и конденсацией на поверхности пор. Поэтому сухие смеси проникающего действия используются на основаниях с развитой капиллярной пористостью и не могут быть использованы для гидроизоляции асбестоцементных конструкций, в бетонах с крупными сквозными порами и др.

*Сухие смеси для обмазочной гидроизоляции* представляют собой тонкие непроницаемые покрытия толщиной 1-3 мм, нанесенные на поверхность изолируемой конструкции. Для этого вида изоляции используются сухие смеси, состоящие из гидравлических вяжущих, наполнителей и полимерных добавок.

В отличие от гидроизоляции проникающего действия, обмазочная гидроизоляция на основе сухих смесей может быть использована для материалов с практически любой пористостью. Покрытие имеет высокую деформативность и изолирует конструкцию не только от воды, но и от фильтрации воздуха и газов.

На Московском опытном заводе сухих смесей (ОЗСС) разработаны и выпускаются сухие смеси для гидроизоляции с использованием бетонитовых глин. /25/

*Для наружной гидроизоляции подземных частей зданий, фундаментов* на ОЗСС разработана полимерминеральная композиция. Материал предназначен для отсечения грунтовых или паводковых вод от фундаментов по периметру. В основу материала положены противифльтрационные свойства некоторых видов глин, которые при затворении водой и в набухшем состоянии обеспечивают образование водонепроницаемого слоя.

Гидроизоляционные сухие смеси, разработанные на ОЗСС, используются для засыпки, плотной укладки или зачеканки под давлением (в виде пасты) в места поступления грунтовых или паводковых вод в подземную часть зданий, сооружений и др.

Гидроизоляционная смесь укладывается в конструкцию только в сухом виде и используется для наружной изоляции подземных объектов при новом строительстве, создания водохранилищ, насыпных плотин и др. Для этого рядом с вертикальной стеной изолируемого объекта предусматривается узкое пространство шириной не менее 100 мм. В нее помещается сухая смесь в жесткой опалубке, для чего используются листы ЦСП или асбестоцемента (рис.7.2).

Для избежания попадания сточных вод в подземные части зданий (подвалы, хранилища), опалубку с сухой смесью выводят над поверхностью подземной части стены и закрывают отмошкой.

На горизонтальных поверхностях поверх сухой смеси в опалубке устраивается бетонная стяжка или укладываются плиты. Засыпанную смесь необходимо уплотнять, чтобы при эксплуатации не допускать разрывов внутри слоя, особенно тщательно - места сочленения горизонтальных и вертикальных поверхностей.

После насыщения смесь образует гелеобразную массу - так называемый "глиняный замок", выдерживающий давление воды до 0,6 МПа.

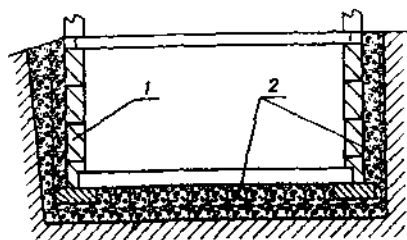


Рис.7.2. Схема наружной гидроизоляции подземного сооружения:  
1 — стена подземного сооружения;  
2 — гидроизоляционный экран

Для гидроизоляции действующих объектов изнутри разработан специальный состав на основе полимерноминерального композита, который на объектах затворяется водой и

используется в пастообразном виде. Создание противофильтрационной завесы требует обследования интенсивности протечек стены здания или сооружения.

При изоляции объектов в подземной стене, изнутри на расстоянии около 1 м ниже мест наиболее интенсивных протечек пробуриваются сквозные шпур, которые должны достигать грунта (рис.7.3).

В шпур устанавливаются нагнетательные патрубки по которым подается приготовленный пастообразный состав. Нагнетание продолжается до тех пор, пока в соседних патрубках не появляется смесь. После этого шпур зачеканиваются таким образом, чтобы избежать потерь давления.

По такой схеме осуществляется прокачка всей протекающей конструкции. Через сутки, когда паста наберет необходимую воду для образования глиняного замка, поверхность проверяется на наличие протечек и при необходимости производятся нагнетания.

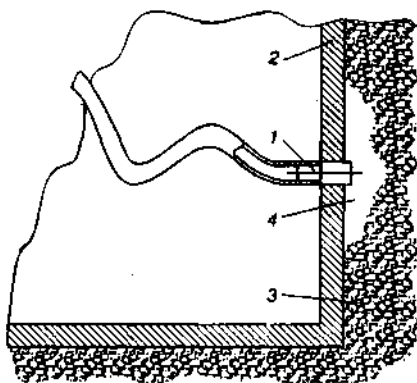


Рис.7.3. Схема изоляции объектов изнутри:

1 – патрубок для нагнетания гидроизоляционного состава, установленный в шпур; 2 – стена подземного сооружения; 3 – грунт; 4 – закаченный гидроизоляционный состав

### 7.3. Плиточные клеи и шпатлевки

Отделка фасадных поверхностей и внутренних помещений зданий и сооружений керамической плиткой имеет определенную значимость в общем перечне отделочных работ.

Довольно просто решается вопрос о креплении плитки к поверхности сборных железобетонных конструкций, например панелей. Этот процесс совмещается с формированием конструкций ("лицом вниз" или "лицом вверх"). При этом используются адгезионные свойства цементного теста бетонной смеси.

При креплении плитки к поверхностям зданий и сооружений необходимо применять адгезивы — клеевые композиции. Обычно в этом качестве для плиточных работ использовался цементно-песчаный раствор, который наносили на поверхность слоем толщиной 1...2 см.

Для повышения адгезионной прочности в состав цементно-песчаных растворов поливинилацетатную дисперсию ПВАД.

В СССР, применяющиеся в качестве плиточных клеев, вводят порошкообразные полимеры, в том числе поливинилацетаты и эфиры целлюлозы.

Плиточные клеи, изготавливаемые на Московском ОЗСС /26/, имеют следующие показатели качества:

предел прочности при сжатии — 15...20 МПа,

адгезионная прочность — 5...10 МПа,

морозостойкость не менее 50 циклов,

открытое время — не менее 10 мин.

Плиточные клеи экономичны. Расход композиции составляет при толщине слоя 5...7 мм 7...9 кг на м<sup>2</sup> поверхности.

Основание под керамические плитки должно быть прочным, ровным, очищенным от пыли, грязи, жира и остатков масляной краски. Все слабоприлегающие элементы основания перед нанесением клея удаляются. Сильнопоглощающие или пылящие основания (старые известковые штукатурки), комбинированные поверхности необходимо обрабатывать грунтовочной эмульсией, которую наносят кистью или малярным валиком на ровную поверхность.

Трещины, неровности и другие дефекты предварительно устраняются при помощи штукатурных смесей. Выравнивание основания начинают с того места, где дефектов больше всего. За один проход наносится слой не более 20 мм. После затвердевания выравнивающего слоя можно приступить к укладке плиток.

Приготовление клеевого состава отличается простотой и экономичностью: сухую смесь затворяют водой и размешивают вручную или с помощью механизмов (дрель с насадкой). Состав выдерживают 5 мин для лучшего растворения химиче-

ских добавок и еще раз перемешивают. После этого клей готов к нанесению и сохраняет свои качества около 2 ч. Кладку плитки желательно проводить при температуре +5 - +30°C. При более низкой или более высокой температуре технические характеристики клеев ухудшаются и могут привести к браку в работе.

Нанесение клея производится гладкой стороной шпателя тонким слоем (толщина 3-7 мм) и распределяется по поверхности зубчатой стороной так, чтобы полосы располагались вертикально. Величина зубьев шпателя (2-12 мм) подбирается с учетом размеров плитки (чем больше плитка, тем больше размеры зубьев шпателя).

Площадь нанесения раствора должна быть не более 1 м<sup>2</sup>, так как нанесенный раствор сохраняет свои клеящие свойства на основании в течение 15-30 мин. Это время зависит от типа основания, температуры и влажности воздуха: пористые поверхности быстрее забирают воду из раствора и соответственно ускоряют схватывание. Повышенная температура также способствует быстрейшему высыханию раствора. Засохший раствор утрачивает свои клеящие свойства, поэтому для продолжения работ его необходимо удалять и наносить новый слой.

Такая технология в сравнении с традиционной позволяет значительно экономить материалы и полезную площадь помещения за счет сокращения толщины цементной подушки. Использование сухих клеев предусматривает четкое планирование расположения плиток, а высокая адгезия состава позволяет выполнять работы сверху вниз на вертикальных поверхностях.

Клеевые составы обычно имеют серый цвет и не имеют декоративных качеств. расшивка швов, как заключительный элемент облицовки, придает поверхности законченный внешний вид и производится через 24 ч после достаточного затвердевания клея специальными цветными фуговочными смесями.

Фуговочный состав подбирается под цвет плитки и может выпускаться белого, голубого, розового, черного, бежевого и зеленого цвета.

Готовый раствор, отличающийся высокой пластичностью, позволяет заполнять швы до 6 мм. Основание под затирку необходимо очищать от пыли и других загрязнений. Желательно, чтобы швы имели равную глубину, так как разнотолщинность фуговочного слоя ведет к неравномерному высыханию и различию в цвете. Через 48 ч поверхность можно эксплуатировать.

#### 7.4. Штукатурные растворы

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

Для декоративной отделки стен зданий, сложенных из кирпича и других каменных материалов, и защиты стен от атмосферных влияний применяют следующие способы: оштукатуривание известняковыми, цементными или смешанными растворами, ранее представленными в разделе 4.1., под окраску или оштукатуривание декоративной штукатуркой.

Известковые растворы затвердевают под воздействием двуокиси углерода путем карбонизации, а известково-цементные (смешанные) растворы методом карбонизации и градации под влиянием влаги. Чем больше цемента в растворе, тем прочнее будет штукатурка и быстрее будет достигнута окончательная прочность.

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

Для увеличения подвижности растворов вводят гидрофонопластифицирующие добавки.

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



Большой опыт в производстве ССС для штукатурных работ накоплен фирмой "Кнауф". /26/

### Гипсовые штукатурные сухие смеси

Фирма KNAUF выпускает сухие строительные смеси на своих российских дочерних предприятиях в Красногорске, Санкт-Петербурге, Дзержинске и Псебае Краснодарского края. Основную часть потребляемых смесей KNAUF составляют штукатурные смеси Ротбанд и Гольдбанд. Эти сухие штукатурные смеси применяются для отделки внутренних поверхностей помещений ручным способом.

Технология нанесения штукатурных смесей Ротбанд и Гольдбанд отличается от традиционных способов. Качество выполняемых работ будет зависеть от точного соблюдения всех технологических операций. В связи с тем, что штукатурные смеси Ротбанд и Гольдбанд являются материалами на основе гипсового вяжущего, необходимо соблюдение рекомендуемого времени каждой технологической операции.

Поверхность, оштукатуренная смесями KNAUF, уже сразу готова под окраску или оклейку обоями без дополнительных операций, таких как шпаклевание и шлифование, это в значительной степени снижает трудозатраты (почти в 2 раза).

Свежеприготовленная растворная смесь должна быть нанесена на оштукатуриваемую поверхность в течение последующих 20 минут. С учетом этого требования и навыков штукатура определяется объем работ, масса свежеприготовленной смеси и последовательность операций во времени. Подробная инструкция по приготовлению штукатурной смеси и технологии выполнения работ имеется в каждой мешке со смесью.

Гипсовые штукатурные смеси Ротбанд и Гольдбанд обладают повышенной адгезией. При работе с гипсовыми штукатурными смесями оштукатуриваемая поверхность должна быть обработана специальными грунтовками, которые создают высокую степень сцепления поверхности со штукатурным раствором, что исключает такие трудоемкие процессы как насечка, установка сетки и др. Применение таких штукатурных сме-

сей очень удобно при реконструкции или реставрации панельных домов, а также в монолитном строительстве, где смещение опалубки может составить до 10-15 мм.

По сравнению с обычными цементно-песчаными растворами, гипсовые штукатурные смеси имеют меньший расход - 30 кг на 3-4 м<sup>2</sup> при толщине слоя 10 мм, а также обладают преимуществами при проведении внутренних штукатурных работ. Время выработки приготовленного раствора составляет 60-90 мин. от начала затворения.

Смеси Ротбанд и Гольдбанд имеют сертификаты соответствия и гигиенические сертификаты. Дважды в год образцы смесей отправляются для подтверждения соответствия немецким нормам DIN 1168 в Центр сертификации и контроля качества строительных изделий из гипса в г. Дармштадт (Германия). В России сертификация сухих смесей производится ЦНИИП СДМ.

### **Цементные штукатурные сухие смеси**

С июля 1999 года фирма KNAUF предлагает на российский рынок новые штукатурные смеси "Зокельпутц УП 310", "Унтерпутц УП 210" и универсальную штукатурную смесь М 150, которые производятся на основе цементного вяжущего со специальными добавками, обеспечивающими тонкий слой нанесения растворной смеси, пластичность, высокую водоудерживающую способность. Они предназначены как для ручного, так и механизированного оштукатуривания.

"Зокельпутц УП 310" обладает повышенной прочностью и предназначена для оштукатуривания цокольных этажей, наружных и внутренних стен подвалов. "Унтерпутц УП 210" используется для оштукатуривания более сухих поверхностей - фасадов, расположенных выше цокольных этажей, для выравнивания стен под облицовку. Универсальная штукатурная смесь М 150 применяется для оштукатуривания стен и потолков по любым основаниям, особенно в местах с повышенной влажностью.

Водоудерживающая способность новых штукатурных растворов составляет 98-99% по сравнению с требуемой ГОСТ

28013 – 95%. Это дает возможность их однослойного нанесения тонким слоем, т.к. постоянное присутствие в штукатурном слое воды способствует реакции гидратации цемента, в результате которой штукатурка набирает требуемую прочность и обеспечивается прочное сцепление с основанием.

Растворы немодифицированных штукатурных смесей отличаются сравнительно низкой водоудерживающей способностью, вода из растворных смесей быстро впитывается основанием и штукатурка не набирает требуемой по рецептуре прочности. Такую штукатурку после нанесения на основание достаточно тяжело обрабатывать. растворная смесь теряет подвижность, с трудом разравнивается, требуется постоянная активация перемешиванием, и, как следствие, существенно сокращается жизнеспособность такого раствора. Поэтому при работе с растворными смесями, имеющими низкую водоудерживающую способность, технологический процесс укладки растворной смеси разбивают на отдельные операции и наносят отдельными слоями (обрызг, грунтовка, накрывка), что увеличивает затраты.

Расслаиваемость новых растворных штукатурных смесей KNAUF сведена к нулю. По ГОСТ 28013 расслаиваемость растворной смеси не должна превышать 10%. отсутствие расслаиваемости обеспечивает однородность раствора по всему объему, что гарантирует однородность прочностных и деформативных характеристик затвердевшего раствора.

Благодаря применению химических добавок повышается прочность сцепления с основанием (превышает 1,0 МПа).

Высокая стабильность реологических характеристик растворных смесей, прочностных и деформативных свойств готовых растворов увеличивает их долговечность. Поэтому несколько более высокая стоимость сухих смесей (30% стоимости составляет стоимость химических добавок) должна оцениваться с учетом снижения расхода материалов, более высокой производительности труда, подбора соответствующих материалов для конкретных условий эксплуатации, а также срока службы растворов и необходимости частого ремонта.

В общем объеме строительных работ в настоящее время значительный объем занимает ремонт и реконструкция старых зданий, в том числе кирпичных. В кирпичной кладке старых зданий вследствие либо отсутствия, либо разрушения отсечной гидроизоляции за счет капиллярного всасывания происходит накопление влаги. Это приводит к снижению морозостойкости стенового материала, а также к биокоррозии.

Соли, содержащиеся в воде, образуют высолы на поверхности, которые препятствуют удержанию ремонтных составов. Нанесение штукатурки на такие поверхности влечет за собой отслаивание последней, либо дальнейшее разрушение кирпича под штукатурным слоем. В мировой практике существует несколько видов saniрующих систем, одну из которых разработал "Опытный завод сухих смесей" (Москва). При разработке составов был использован опыт западно-европейских фирм в области санации и гидроизоляции. /25/

**Система санации старых зданий** предназначена для комплексного восстановления фасадов зданий. Существует несколько видов материалов для таких работ: шпуровые составы для заделки в стены с целью восстановления прочностных и гидроизоляционных показателей материала стены.

Кроме этого используется три вида специальных сухих смесей: обрызговый состав, грунтовочная противосолевая saniрующая штукатурка, накрывочный гидрофобизирующий состав.

Первый этап работ состоит в очистке фасада от старой поврежденной штукатурки, отслаивающихся частей материала стен, вычеканки швов на глубину 20 мм для последующего нанесения обрызгового высокоадгезионного слоя.

**Обрызговый состав** предназначен для получения равномерного закрепляющего слоя, обеспечивающего сцепление с основанием. В зависимости от условий применения, он должен обладать достаточной солестойкостью. Его выполняют обычно по всей поверхности в виде сетки, покрывая не менее 70% площади толщиной 5 мм.

Противосолевой штукатурный состав является выравнивающим. Его основное назначение – предотвращать пропус-

вание солей. Штукатурка наносится на предварительно увлажненный обрызговой состав в один слой толщиной не менее 20 мм с последующей грубой обработкой поверхности. В теплую погоду увлажнение состава после нанесения следует производить несколько раз.

Для окончательного формирования saniрующего пирога на штукатурный состав необходимо наносить **накрывочный гидрофобизационный состав**, который характеризуется высокой паропроницаемостью, незначительным капиллярным водопоглащением и отличной адгезией с основой. Этот слой обеспечивает проникание паров воды из внутренних слоев стены в атмосферу. После затвердевания в течении 30-40 мин., слой выравнивается и затирается войлоком при смачивании поверхности водой. Обработанную поверхность можно окрашивать паропроницаемыми красками на силикатной или лаковой основе.

Таким способом можно восстанавливать строительные конструкции, которые предварительно необходимо подвергать тщательному обследованию.

### 7.5. Наливные полы

В современных зданиях и сооружениях пол представляет собой горизонтальную многослойную конструкцию, каждый слой которой имеет определенное функциональное значение.

Пол может состоять из следующих слоев:

- основание;
- подстилающий слой;
- звукоизоляция;
- теплоизоляция;
- стяжка;
- гидроизоляция;
- грунтовка;
- покрытие, непосредственно подвергающееся эксплуатационным воздействиям.

Полы представляют собой один из трудоемких конструктивных элементов здания. В жилых зданиях стоимость полов близка к стоимости несущей части перекрытия, а затраты на их устройство в 2...4 раза выше. В одноэтажных промышленных зданиях стоимость полов достигает 15...20% общей стоимости здания, а расход бетона на устройство пола приблизительно равен расходу на конструкцию покрытия.

Полы должны иметь высокие показатели качества по прочности, деформативности, истираемости, трещиностойкости, коррозионной стойкости и декоративности.

Комплексу перечисленных требований отвечают наливные полы на основе полимерных вяжущих. Однако имеется практика изготовления наливных полимерцементных полов. /6/ Это создает предпосылки для создания ССС, применяемых в наливных полах.

Отметим, что наливные полы являются одним из самых сложных и чувствительных к колебаниям качества сырья видов сухих смесей. Главными критериями хорошего качества ССС является обеспечение:

- достаточного, но не слишком продолжительного времени растекания массы;
- минимальной величины усадочных деформаций;
- нерасслаиваемости растворной смеси;
- условий для равномерного удаления свободной воды;
- отсутствия усадочных трещин;
- минимального количества пены, образующейся при перемешивании растворной смеси.

Качество пола зависит от точной дозировки полимера и других вспомогательных компонентов, от времени замеса и выдерживания массы, от подготовки основы, от применяемых приспособлений и оснастки, от правильности залива, от соблюдения рекомендуемой толщины слоя, от климатического режима на строящемся объекте и других факторов.

На трещиностойкость и долговечность наливных полов существенное влияние оказывает напряженное состояние конструкции пола, возникающее при воздействии усадочных деформаций (разд. 5.4). Более стойкими к данному виду воздействия являются наливные каркасные полы /28/, которые изготавливаются следующим методом. На первой стадии гранулы заполнителя, например щебня фракции 5-10 мм, предварительно обрабатываются связующим. На данной стадии количество связующего подбирается лишь для обеспечения склейки в месте контакта зарен. Полученная смесь укладывается на основание пола. После затвердевания каркаса его пустоты заполняются мастикой, наполненной мелким заполнителем, например, кварцевым песком.

АО "ОЗСС" (Москва) разработал ряд цементных композиций для наливных полов.

Специальные бетонные смеси и пескобетоны класса В22,5-В40 для устройства оснований пола изготавливаются из

высококачественного цемента, обогащенного песка, фракционированного гранитного щебня или гравия с комплексом химических добавок, обеспечивающих высокие эксплуатационные и строительно-технологические показатели затвердевших покрытий.

Разработаны и внедрены составы для устройства износостойких покрытий в производственных помещениях (бетоны КМС), которые используются как верхнее покрытие. Строительно-технические свойства и эксплуатационные показатели бетонов КМС для устройства покрытий автозаправочных станций, автомобильных стоянок, подземных гаражей, цеховых и складских помещений, мастерских, при ремонте сложных бетонных поверхностей приведены ниже.

#### Техническая характеристика бетонов КМС

Класс прочности при сжатии .....	B22,5(M300), B25(M350), B30(M400), B35(M450), B40(M550)
Класс прочности при изгибе .....	Btb6,0 (Ptb80), - Btb8,0 (Ptb100)
Марка по морозостойкости .....	F300
Водоцементное отношение .....	0,32-0,35
Марка по водонепроницаемости .....	W6 - W12
Адгезия к бетону, Н/мм <sup>2</sup> .....	1,5
Марка по удобоукладываемости .....	ПЗ (10-15 см); ПЧ (16-20 см)

Бетоны КМС представляют собой высококачественные готовые к употреблению смеси на основе специальных высокомарочных цементов и тщательно подобранных заполнителей: обогащенных песков и высокопрочного гранитного щебня, модифицированные комплексом специальных химических добавок и полимерных дисперсий. Введение полимерной дисперсии в состав бетона обеспечивает эффект синергизма двух связующих, в результате чего происходит значительное уплотнение структуры цементного камня и как следствие увеличение прочности, стойкости к воздействию кислот и щелочей, снижение водопроницаемости.

Для повышения механической прочности, ударостойкости, истираемости, стойкости к агрессивным средам АО "ОЗСС" разработал и внедрил совместно с АО "ЦНИИПромзданий" упрочняющий состав для промышленных бетонных монолитных полов УК-1, который наносится поверх свежесделанного бетона.

Упрочнитель УК-1 наносят на свежесделанное бетонное основание с марочной прочностью не ниже В25. Перед нанесением с бетонной поверхности удаляют корку до появления влаги. Смесь рассыпается по поверхности бетона в 2-3 приема. Заглаживание производится машиной с диском. Применение

упрочнителя УК-1 необходимо проводить согласно рекомендаций, разработанных АО "ОЗСС" и АО "ЦНИИПРОМЗДАНИЙ".

#### Техническая характеристика упрочнителя УК-1

Прочность при сжатии через 28 сут., МПа .....	60-70
Прочность при изгибе через 28 сут., МПа .....	10-11
Истираемость, г/см <sup>2</sup> .....	0,3-0,4
Температура применения, °С .....	+5 - +30
Температура эксплуатации, °С .....	-30 - +70

Полы с упрочняющим слоем рассчитаны на длительную эксплуатацию без ремонта (15-20 лет). Для обеспыливания и придания гидрофобности вновь уложенным или существующим полам их покрывают новым составом бирсс-бетон. состав наносится валиком в 2 слоя и интервалом для сушки в 1 сутки.

Широкое распространение для наливных (монолитных) полов получили сухие смеси фирмы ATLAS (Польша). В 1995 году концерн ATLAS начал производить самовыравнивающуюся подкладочную смесь для пола SAM 200, а с недавних пор – усовершенствованную и обогащенную смесь – SAM 150 (с сокращенным временем схватывания, уменьшенной минимальной толщиной отдельного слоя, а также увеличенной прочностью).

Указанная смесь является самовыравнивающейся. Она обладает свойством самонивелирования после ее укладки на заранее подготовленное основание. В зависимости от химического состава и свойств, она может применяться для выполнения различных слоев пола. Производится в виде сухой готовой смеси, запакованной в мешок. Самовыравнивающиеся смеси для пола производятся на основе цемента, гипса или ангидритового цемента.

Об универсальности разработанных смесей говорит тот факт, что они могут использоваться в виде монолитного соединенного пола, монолитного пола на влагостойкой изоляции, "плавающего" пола. Благодаря химическому составу и своей структуре ангидридные самовыравнивающиеся смеси с успехом применяются для пола с установленной системой напольного отопления. Толщина одного подкладочного слоя колеблется в пределах 1,5-6,0 см. Прочность на сжатие свыше 25 МПа, а на изгиб свыше 4,5 МПа свидетельствует о том, что можно выливать относительно тонкие слои без армирования. Небольшая толщина подкладочного слоя значительно снижает вес пола и его давление на лаги, что имеет значение в модернизированных зданиях, а также в случае деревянных лаг. В конечном итоге, уменьшается расход материала, что, в свою оче-



редь, снижает время выполнения подкладочного слоя, снижает стоимость транспорта и трудозатраты.

Конструкции наливных монолитных полов, выполняемых на смесях ATLAS представлены на рис.7.5.

**Монолитный соединенный пол** (рис.7.5, а) характеризуется непосредственным соединением целой поверхности с основанием, которое не должно быть поглощающим, для этого основание нужно предварительно загрунтовать эмульсией ATLAS UNI-GRUNT. Минимальная толщина выливки — не меньше 25 мм. Монолитный соединенный пол нельзя укладывать в помещениях, в которые может проникать влага.

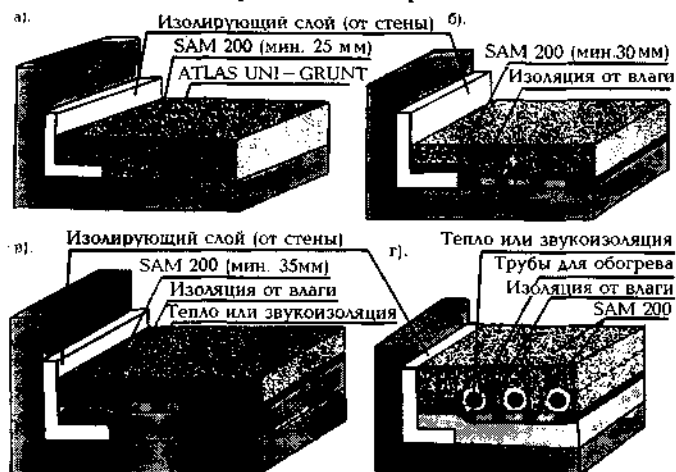


Рис. 7.4. Конструкции наливных полов на основе сухих строительных смесей концерна ATLAS (Польша):

а) монолитный соединенный пол; б) монолитный пол на разделяющем слое; в) монолитный "плавающий" пол; г) монолитный пол в системе с обогреваемым полом

**Монолитный пол на разделяющем слое** (рис.7.5,б) применяется в тех случаях, если между монолитным полом и непосредственно самим основанием нужно разместить изолирующий слой так называемый оделитель влажности. Отделяющим слоем может быть изоляционная фольга. Минимальная толщина выливки — 30 мм.

**Монолитный "плавающий" пол** (рис.7.5,в) наносится на слой изоляции или звукоизоляции. Монолитный пол не должен соприкасаться непосредственно с самим основанием, стенами или оборудованием. Минимальная толщина — 35 мм.

**Монолитный пол в системе отопления с обогреваемым полом** (рис.7.5,г) дополняется носителем тепла (водяное или электрическое отопление). Слой должен закрыть трубы

для обогрева не меньше, чем на 25 мм. Оборудование должно быть хорошо закреплено, согласно технологии выполнения подобного рода работ. Перед выливанием монолитного пола отопительные трубы нужно заполнить водой, если отопление водяное. Отопление монолитного пола нужно осуществлять ступенчато (по 5°C в сутки) и не ранее 7 дней с момента выливания.

## 7.6. Красочные составы

Повышение требований к охране окружающей среды, отказ от дорогостоящих натуральных масел обусловили вытеснение как на мировом, так и на отечественном рынках органоразбавляемых и масляных красочных материалов водоразбавляемыми. Кроме того, применение органоразбавляемых красок приводит к необратимой потере органических растворителей.

Строительная индустрия в настоящее время испытывает дефицит водоразбавляемых красочных составов, который восполняется композициями на основе минеральных вяжущих или полимеров, приготавливаемых в построечных условиях или на заводах сборного железобетона. Применение в данном случае красочных составов в виде сухих смесей позволило бы повысить качество и экономичность отделочных покрытий.

Порошковые полимерные краски поменяются в различных отраслях промышленности. Они представляют мелкодисперсную сухую смесь, состоящую из твердых полимеров, наполнителей, пигментов и специальных добавок. Основные свойства: оптимальная дисперсность (10-100 м<sup>2</sup>/г), сыпучесть и насыпная плотность. Порошковые краски доводят до рабочей вязкости ожижением, т.е. переводом в капельно-жидкое состояние (расплав), монолитизацией – слиянием частиц и их отверждением с образованием химически стойкого покрытия. В качестве основного сырья применяют термопластичные полимеры (полиэтилен, поливинилхлорид, полиамиды) и реактопласты (эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые). Покрытия наносятся на защищаемую поверхность различными методами с разогревом состава (пистолетом и др). Например, покрытия из поливинилбутирольной краски ПВЛ-212 получают при температуре 170°C и 250°C, время формирования и покрытия соответственно составляют 30 и 3 мин.

Но эти краски находят применение для покрытия технологического оборудования в химической промышленности. Для строительной индустрии более приемлемы сухие смеси на минеральных вяжущих и водоразбавляемых полимерах.

Красочные составы для отделки фасадов в виде сухих смесей разрабатываются в Пензенской ГАСА. /29,30/ Для их приготовления используют минеральные вяжущие (воздушную известь, белый портландцемент), полимерные добавки, в том числе поливиниловый спирт, ПВАД. На качество красочных составов в значительной мере влияет правильный выбор пигментов.

Пигменты – порошкообразные красящие материалы, способные в смеси с жидким связующим образовывать красочные составы и в то же время не растворяться в связующем. От них зависит не только цвет, но и долговечность покрытия. Подобно заполнителю в строительных растворах и бетонах, пигмент уменьшает усадочные деформации пленочного покрытия при ее твердении ("высыхании"). Искусственные пигменты с большой красящей способностью разбавляют белым тонкодисперсным наполнителем, что удешевляет красочный состав. Наполнители: мел, молотый известняк или гипс, тальк, не снижающие атмосферостойкости покрытия. Искусственные минеральные пигменты получают путем термической обработки минерального сырья. Для получения природных минеральных пигментов производят механическую обработку природных материалов: помол, просев или отмучивание. Пигменты выпускают как в сухом порошкообразном состоянии, так и в виде паст – концентратов, эмульсий и микрокапсул. Запрещено применение токсичных пигментов, содержащих в своем составе, например, свинец.

Экспериментально установлено, что в разработанных красочных составах полимервяжущее отношение не должно превышать 0,2.

Поскольку красочные фасадные покрытия находятся в сложных эксплуатационных условиях (выветривание, атмосферные осадки, замораживание-оттаивание), то на правильный выбор красочных составов существенное влияние оказывает фактор долговечности. На рис.7.6 представлены данные исследования долговечности разработанных красочных составов. Как видно из приведенных данных существенное значение на долговечность разработанных красочных составов оказывают полимерные добавки.



Рис.7.5. Изменение уровня накопления повреждений от продолжительности старения:

1- известковое покрытие; 2 – покрытие на основе сухой отделочной смеси; 3 – полимеризвестковое покрытие; 4 – ПВАЦ покрытие

В таблице 7.2. приведены результаты определения показателей качества красочных составов.

Таблица 7.2

Свойства краски из сухой отделочной смеси и покрытий на ее основе

Наименование показателей	Значения
Вязкость по ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм, с	$18 \pm 30$
Время высыхания до степени 3 при 20°C, мин	$60 \pm 70$
Класс качества внешнего вида	IV±VI
Количество наносимых слоев:	
для простых гладких покрытий	1
для улучшенных покрытий	2
расход краски при нанесении в 2 слоя, г/м <sup>2</sup>	$500 \pm 520$
Адгезия, МПа	$1,6 \pm 1,9$
Твердость, МПа	35
Жизнеспособность, сут.	>60
Водопоглощение (в течение 24 часов), %	5,4
Коэффициент паропроницаемости, мг/м <sup>2</sup> Па	0,06
Срок службы, год	$3 \pm 4$

Как отмечалось в разделе 2, в качестве полимерной добавки в ССС для лакокрасочных составов, наибольшее распространение получили акриловые полимеры, пригодные и для отделочных составов для фасадов зданий.

На основе акрилового сухого латекса Drycryl DP 2904 с добавлением компонентов отечественного производства были разработаны рецептуры и технология (включая удобное малогабаритное оборудование для производства) серии сухих водоразбавляемых красок и клеев ВСК (в том числе на основе цемента). /7/

## **8. ТЕХНОЛОГИЯ ЗАВОДСКОГО ПРОИЗВОДСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

Как отмечалось выше, существенным преимуществом ССС перед другими строительными составами, изготавливаемыми мокрым способом, является их высокая индустриальность, существенный вклад в которую вносит заводское приготовление ССС.

Технология производства сухих смесей складывается из следующих операций:

- тепловая обработка (сушка) в сушильных агрегатах заполнителя, песка в частности, до влажности, равной 0,5%;

- рассев заполнителя на ситах на требуемое количество фракций;

- просеянный песок после дозирования загружается в смеситель принудительного действия;

- в тот же смеситель загружают предварительно отдрзмированные на весовых дозаторах другие компоненты ССС;

- отдозированные материалы перемешивают до требуемой степени однородности;

- полученную смесь затаривают в емкости, необходимые для реализации и подают в склад готовой продукции.

Смеси хранят в сухом месте, а с полимерными добавками при температуре не выше 40°C.

В нашей стране в разработке технической документации и производству технологического оборудования для получения ССС занимает ООО "Консит -А" /31,33/

На рис.8.1 приведена общая структурная схема мини-завода для производства ССС.

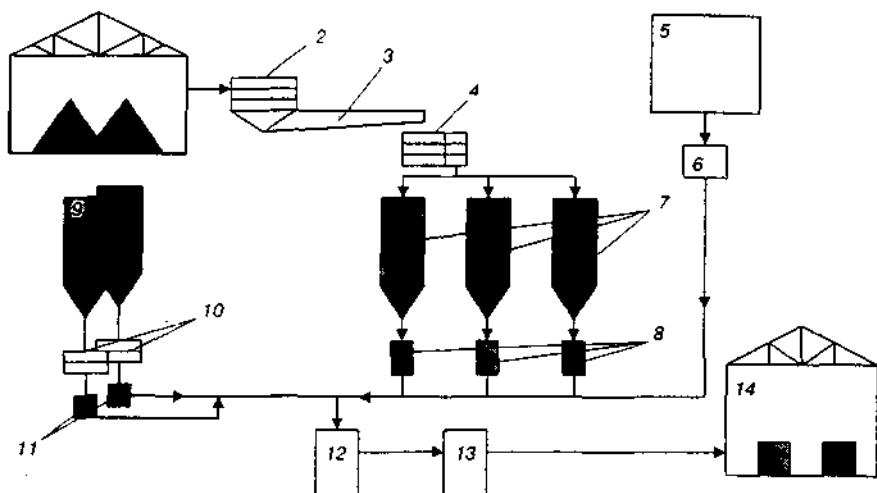


Рис. 8.1. Структурная схема мини-завода для производства сухих смесей:

1 – склад песка; 2 – грохот для первичной просевки песка; 3 – электрическая сушилка непрерывного действия; 4 – вибросито с очистителем ситок; 5 – склад добавок; 6 – пост фасовки добавок; 7 – бункера фракционированного песка; 8 – дозаторы для песка; 9 – силосы для вяжущих; 10 – вибросита для просевки вяжущих; 11 – дозаторы для вяжущих; 12 – смеситель; 13 – фасовочная установка; 14 – склад готовой продукции

Производство ССС состоит из трех составных частей: подготовка исходных материалов, приготовление смесей и отпуск готовой продукции.

Участок подготовки исходных материалов обеспечивает заполнение и поддержание в необходимых объемах сырья (инертные материалы, вяжущие, пигменты и добавки) в бункерах. Бункеры вяжущих (и в некоторых случаях пигментов) в основном заполняются с помощью пневмотранспорта. Материал подается из автомобильных, железнодорожных емкостей или с дополнительных складов. Заполнение бункеров добавок, поступающих в мешках, ведрах или бочках, осуществляется вручную с помощью подъемных устройств.

Вид инертного материала определяет набор оборудования для приемки и подготовки. Наиболее распространенный инертный материал – кварцевый песок.

Используются три способа загрузки сушильных агрегатов.

**Загрузка песка в электрическую сушилку типа СВТ-0,5**, применяемую в модульной установке К-123-00.000, осуществляется с помощью автопогрузчика в приемную воронку вибрационного грохота, отсеивающую частицы более 20 мм и заполняющую песком бункер шнекового питателя ПШ-0,56, который и осуществляет дозированное питание электрической сушилки (рис. 8.1).

**Загрузка песка в сушильный агрегат установки К-143-00.000** производится грейферным гидрозагрузчиком, установленным на металлоконструкции, на высоте 3 м (объем склада составляет около 24 м<sup>3</sup> песка). Далее, как в предыдущем случае.

**Загрузка песка на стационарных заводах** производится с помощью скипового подъемника, ковш которого рассчитан на загрузку из самовала или автопогрузчиком.

Ковш скипового подъемника, поднимаемый стандартной лебедкой по направляющим, опрокидывается на колосниковую решетку и песок поступает в воронку грохота, удаляющего частицы крупностью более 20 мм. Отсеянный песок попадает в промежуточный бункер, дном которого является рабочий орган качающего питателя, осуществляющего дозированную загрузку сушильного агрегата.

Для предотвращения зависания песка в зимнее время стенки бункера выполнены вертикальными (только в месте загрузки питателя – отклонение от вертикали не более 15°) и имеют рубашку, обогреваемую выхлопными газами сушильного агрегата. В зависимости от типа сушильного агрегата производительность оборудования узлов загрузки – 1-6 т/ч.

В качестве сушильных агрегатов могут быть использованы электрические сушилки типа СВТ-0,5 или ПЭВ-270, представляющие собой вертикальную колонну с закрепленным на ней желобом, по которому под действием вибрации перемещается песок. Колонна заключена в теплоизолирующий кожух, в дверях которого закреплены электронагревательные элементы (ТЭНы). Песок, перемещаясь из зоны загрузки к зоне разгрузки, подвергается регулируемому тепловому воздействию, в результате которого высушивается до 0,1-0,5% влагосодержания.

Процесс сушки управляется термопарами, установленными в дверях кожуха, разгрузочном патрубке и патрубке отвода выхлопных газов. Производительность сушилки СВТ-0,5 – 0,5 м<sup>3</sup> /ч песка (до 50 кг испаренной влаги), а для ПЭВ-270 – 2 м<sup>3</sup> /ч песка (300 кг испаренной влаги) при затратах энергии 120 и 320 кВт соответственно.

Преимущества электрических сушилок: использование экологически чистого теплоносителя, автоматизация процесса, экологическая безопасность и, как следствие, отсутствие объемных и дорогостоящих систем очистки выхлопных газов. Недостаток — относительно высокая стоимость энергоносителя.

Участок подготовки кварцевого песка как правило состоит из склада песка, устройства загрузки сушильного агрегата, самого сушильного агрегата, узла очистки выхлопных газов, рассеивающего устройства, транспортных средств и бункеров с разгрузочными устройствами. Самым энергоемким узлом установки, значительно влияющим на себестоимость продукции, является узел сушилки песка. Поэтому предпочтительно использование песков, хранящихся на крытых складах с организованной системой потери естественной влажности.

В связи с этим для сушилки песка может быть использована барабанная сушилка БНУ-1-6, работающая на природном газе. Для нее характерны высокая производительность и относительно низкая стоимость теплоносителя.

Для подачи материалов на этом участке используются винтовые питатели, отличительной особенностью которых является или очень короткая часть шнека, заключенного в кожух, или шнек, заключенный в прямоугольный кожух, позволяющий вытеснять крупные частицы, препятствующие его вращению.

Для подъема сухого песка используется элеватор, отличительной особенностью которого является использование в качестве тягового и грузонесущего органа круглозвенной цепи, приводимой в движение гладким (цилиндрическим) барабаном. Для отсева сухого песка используются вибрационные сита типа СВ. Сито состоит из свободно колеблющегося рабочего органа с закрепленным на нем приводом, опирающегося через амортизаторы на неподвижную раму.

Загрузка материала производится через центральный патрубок в крышке сита. Разгрузка каждой фракции осуществляется в свой патрубок, который можно развернуть относительно оси сита в любом положении.

Инертные и вяжущие материалы подаются из бункеров в дозатор двухскоростными винтовыми питателями. Управление питателями осуществляется дистанционно с пульта оператора или в автоматическом режиме согласно заданному рецепту. Винтовые питатели имеют большую производительность для обеспечения последовательной дозировки всех необходимых компонентов за короткое время.



Дозатор ДВ – 500 представляет собой бункер с наклонным винтовым конвейером, закрепленным на трех тензодатчиках к металлоконструкции установки.

В стационарных установках используют дозаторы типа АД-250. Грузоподъемное устройство дозатора заполняется материалом двумя винтовыми питателями типа ПВ-250 поочередно и имеет затвор, управляемый пневмоцилиндром.

Вяжущие и инертные материалы дозируются попарно. Порции каждого материала отмеряются последовательно и выгружаются в промежуточные воронки, соединенные со сборным виброконвейером большой производительности, загружающий вибрационный смеситель.

Для повышения точности дозирования рекомендуется в качестве добавок использовать предварительно подготовленные смеси добавок с цементом в соотношении 1:10 – 1:20.

В производстве ССС используется разнообразное оборудование для принудительного смешивания материалов, в котором борьба за качество смешивания и сокращение времени циклов приводит к значительному усложнению конструкции, увеличению массы и установленной мощности привода. В отдельных случаях стоимость смесителя составляет 40% стоимости оборудования всей установки. Поэтому в установках, разработанных ООО "КОНСИТ – А", используются вибрационные смесители типа СМВ-0,4 или СМВ-0,7 с объемом рабочей камеры 400 и 700 л соответственно. Применение вибросмесителей в производстве ССС имеет следующие достоинства:

- отсутствуют быстроизнашивающиеся механические перемешивающие устройства;

- внутренний объем камеры гладкий, без карманов, легко очищающийся при разгрузке;

- высокое качество перемешивания основы с небольшим количеством добавок (в том числе сильно отличающимися по физическим свойствам);

- виброактивация смеси и, как следствие, получение материалов с улучшенными механическими характеристиками.

Недостаток вибросмесителей – сравнительно большое время смешивания.

Вибрационный смеситель представляет собой торовую камеру, опирающуюся через амортизаторы на раму. Для оптимизации смешивания рабочую камеру смесителя следует заполнять на 0,8-0,9 свободного объема.

Готовые смеси загружаются в бункера. В модульных установках – непосредственно из смесителя, а в стационарных – через бункер-накопитель и ленточный элеватор.

Готовая продукция установки сухих смесей может поставляться в бумажных или полиэтиленовых мешках, мягких контейнерах типа "big bag" или навалом в емкости, специально предназначенные для перевозки ССС.

Для затаривания смеси в модульной установке имеется фасовочный агрегат АД-2 объемного дозирования с емкостью рабочей камеры 20 л (35 кг) для фасовки в открытые мешки с последующей прошивкой мебельными скрепками. Производительность агрегата до 2 т/ч.

При необходимости можно укомплектовать установку агрегатом для фасовки в клапанные мешки.

Определенный интерес представляет проект мини-завода ССС (МЗС-10), разработанный ЗАО "Стройпрогресс-Новый век". /32/ По данному проекту построен завод в г.Донской Тульской обл., технологическая схема которого представлена на рис. 8.2. В основу проекта заложен модульный принцип, что дает возможность на основе единой модульной системы создать технологический ряд заводов производительностью 10, 30, 50 тыс. т сухих смесей в год.

Быстромонтируемый мини-завод контейнерного типа изготовлен в виде блочной системы, в которую входят:

смесительный блок;

блок бункеров;

блок отсева;

сушильный блок;

блок воздухоочистки;

внеблочное оборудование (склады, узел загрузки, КИП и автоматика).

Отделение сушки МЗС-10 оснащено системой двойной очистки дымовых газов. Отделение приготовления смеси также оснащено системой аспирации, отсасывающей запыленный воздух от упаковочной машины и мест пересыпки. Таким образом экологическая безопасность деятельности мини-завода обеспечивается.

Определенный интерес представляет разработка фирмы "Консит" установки по производству ССС на базе существующих асфальтобетонных заводов./33,34/

Мощности асфальтобетонных заводов (АБЗ) используются обычно не полностью в связи с неравномерным (сезонным) потреблением асфальта. Возрастающий спрос на сухие строительные смеси (ССС) делает актуальной задачу дооборудования АБЗ для производства этих материалов. Это легко решается при размещении на промплощадке АБЗ модульной установки по производству сухих строительных смесей с ис-

пользованием сушилки уже имеющегося производства. Установка размещается в непосредственной близости от сушильно-го барабана и получает сухой песок из элеватора АБЗ. При этом выпуск сухих смесей можно наладить без нарушения технологической цепочки производства асфальта.

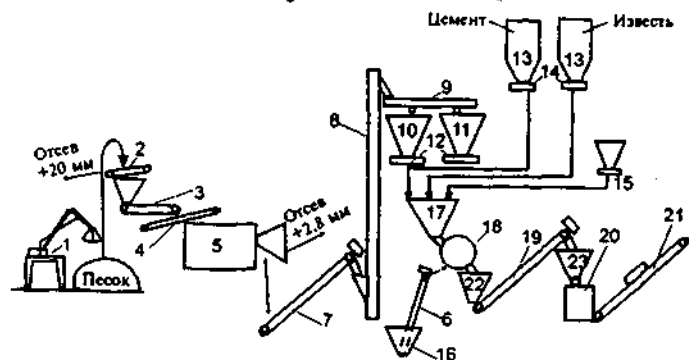


Рис.8.2. Технологическая схема мини-завода сухих смесей МЗС-10: 1-грейферный погрузчик; 2 - виброгрохот; 3 - питатель шнековый; 4 - ленточный конвейер; 5 - барабанное сушило с грохотом; 6 - вертикальный шнек; 7 - вертикальный шнек; 8 - элеватор; 9 - вибросито; 10 - бункер мелкого песка 0-1,4; 11 - бункер крупного песка 1,4-2,8 мм; 12 - винтовые питатели; 13 - склад вяжущего (цемент, известь); 14 - винтовые питатели; 15 - дозатор пластифицирующих добавок; 16 - дозатор противоморозных добавок; 17 - дозатор; 18 - смеситель; 19 - вертикальный шнек; 20 - затаривающая машина; 21 - ленточный конвейер; 22 - емкость готовой смеси; 23 - бункер готовой смеси

Получение ССС осуществляется на отечественном оборудовании. Основными узлами установки являются ковшовый цепной элеватор для сухого песка; вибрационное сито для рас-сева песка на фракции; бункеры для хранения вяжущих (снаб-жены системой аэрации для предотвращения зависания мате-риалов); установка дозирования и взвешивания основных ком-понентов; дозатор добавок; вибрационный смеситель; система аспирации; установка затаривания в мешки; пульт управления.

В работе (35) описан опыт ЦНИОМТП переоборудова-ния и модернизации существующих бетоносмесительных уз-лов для выпуска ССС.

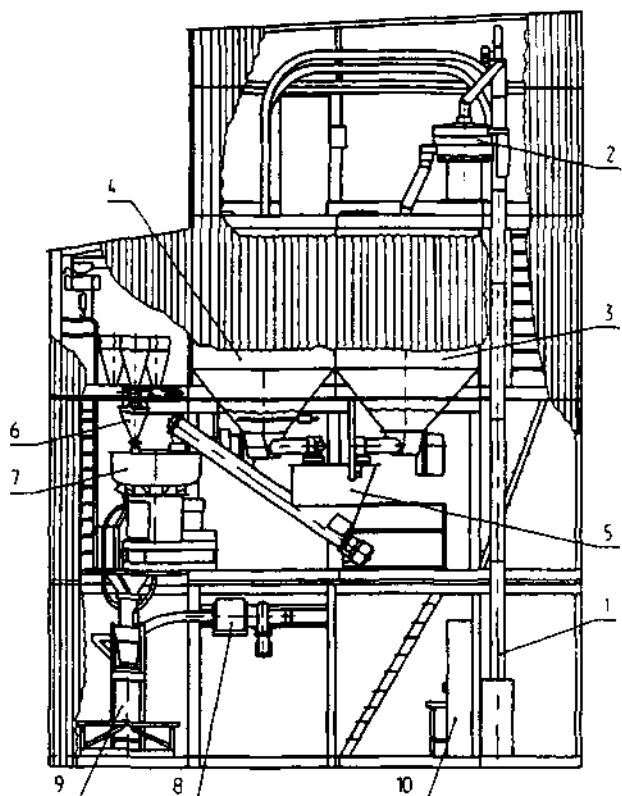


Рис.8.3. Общий вид установки по производству ССС на базе АБЗ

1 – ковшовый элеватор; 2 – сито вибрационное; 3,4 – бункеры; 5 – установка дозирования и взвешивания основных компонентов; 6 – дозатор добавок; 7 – вибрационный смеситель; 8 – система аспирации; 9 – установка затаривания; 10 – пульт управления

Технологическое оборудование завода производительностью 20 тыс. т в год состоит из четырех основных частей: агрегатов сушки и подготовки песка; подачи вяжущих (цемента и извести); дозирования и смешивания компонентов; упаковки и складирования сухой смеси. Особенностью данной схемы является то, что для смешивания компонентов использован бетоносмеситель СБ-138 Б. Вся схема выполнена вертикально и не требует дополнительных агрегатов для перемешивания компонентов смеси.

### Список литературы:

1. Песцов В.И. Современное состояние и перспективы развития производства сухих строительных смесей в России. "Строительные материалы", №3, 1999.
2. Козлов В.В., Топильский Г.В., Алданов Е.А. "Бетон и железобетон", №4, 1997.
3. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение жидкого стекла. – М.: Стройиздат, 1991.
4. Рамачандран В. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1987.
5. Демьянова В.С. и др. Сухие строительные смеси, модифицированные химическими добавками. Изв. ВУЗов. Строительство, №4-5, 1998.
6. Безбородов В.А. и др. Сухие смеси в современном строительстве. - Новосибирск.: 1998.
7. Евдокимов А.В. Сухие водоразбавляемые латексы для строительных и лакокрасочных материалов. Строительные материалы, №11, 1999.
8. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: АСВ, 1999.
9. Рыбьев И.А. Общий курс строительных материалов. – М.: Высшая школа, 1987.
10. Соломатов В.И. и др. Интенсивная технология бетонов. – М.: Стройиздат, 1986.
11. Барбакадзе Е.Ш., Козлов В.В., Микульский В.Г. Долговечность строительных конструкций и сооружений из конструкционных материалов. – М.: Стройиздат, 1995.
12. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. – М.: Высшая школа, 1986.
13. Журавлев В.Ф., Штайферт Н.П.// Цемент. – 1952. - №1.
14. Шпынова Л.Г. и др. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня. Львов, Наукова думка, 1981.
15. Фрейдин А.С., Турусов Р.А. Свойства и расчет адгезионных соединений. – М.: из-во "Химия", 1990.
16. Демьянова В.С. и др. Малоклинкерное низкомарочное композиционное вяжущее для строительных растворов. Изв. ВУЗов. Строительство, №3, 1997.
17. Батраков В.Г., Бабаев Ш.Т., Белильков Н.Ф. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности. Бетон и железобетон, №11, 1988.
18. Цыбакин С.В. Автореферат кандидатской диссертации, МГСУ, 1999.
19. Большаков Э.Л. и др. Сухие смеси для бетонов повышенной водонепроницаемости. Строительные материалы №11, 1998.

20. Большаков Э.Л. Сухие смеси для гидроизоляционных работ. Строительные материалы, №3, 1999.
21. Цюрбринген Р., Дельгер П. Дисперсионные полимерные порошки – особенности поведения в строительных сухих смесях. Строительные материалы, №3, 1999.
22. Топильский Г.В. и др. Бетон и железобетон, №3, 1996.
23. Большаков Э.Л. Сухие смеси для гидроизоляционных работ. Строительные материалы, №3, 1999.
24. Смирнов С.В., Латышева Л.Ю. Отечественные гидроизоляционные материалы на основе вяжущих. Строительные материалы, №4, 1999.
25. Казарновский З.И., Омельченко Л.М., Савилова Г.Н. Утепление ограждающих конструкций, санация и гидроизоляция с применением сухих смесей. Строительные материалы, №3, 1999.
26. Казарновский З.И., Савилова Г.Н. Сухие смеси – новые возможности в строительстве // Строит. материалы, 1999. №2.
27. Палиев А.И., Боршников В.Г., Лукоянов А.П. Сухие строительные смеси на цементной основе "ТИГИ – Кнауф" – новое качество фасадов. Строительные материалы, №10, 1999.
28. Лукоянов А.П. Особенности и преимущества сухих гипсовых штукатурных составов. Строительные материалы, №8, 1999.
29. Соломатов В.И. Технология полимербетонов и армополимербетонов. – М.: Стройиздат, 1984.
30. Логанина В.И., Карпова О.В. Исследование механизма старения покрытий. Лакокрасочные материалы, №1, 1998.
31. Карпова О.В. Автореферат кандидатской диссертации, Пенза, 1999.
32. Чурилин Б.Б. и др. Оборудование для производства сухих строительных смесей. Строительные материалы, №6, 1998.
33. Денисов Г.А. Отечественный мини завод сухих смесей для кладочных, штукатурных и отделочных работ. Строительные материалы, технологии, оборудование 21-го века, №6, 1999.
34. Чурилин Б.Б., Зайцева И.В. Производство сухих строительных смесей на базе асфальтобетонных заводов. Строительные материалы, №6, 1998.
35. Молчанов Е.И. и др. Перепрофилированные БСУ в автоматизированный завод сухих смесей. промышленное и гражданское строительство, №11-12, 1998.