

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 678.04:693.22(043)

**БАКАТОВИЧ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**КЛАДОЧНЫЕ РАСТВОРЫ С ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ  
НА ОСНОВЕ ШЛАМА ВОДООЧИСТКИ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**Автореферат диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук**

Брест – 2002

Работа выполнена на кафедре строительного производства Учреждения образования «Полоцкий государственный университет».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства  
УО «Полоцкий государственный университет»  
БОЗЫЛЕВ В.В.

Официальные оппоненты – доктор технических наук,  
директор РУП «БелдорНИИ»  
БУСЕЛ А.В.

– кандидат технических наук, доцент  
кафедры строительных конструкций  
УО «Брестский государственный  
технический университет»  
ПЛОСКОНОСОВ В.Н.

Оппонирующая организация – научно-исследовательское  
и экспериментально-проектное  
республиканское унитарное  
предприятие «Институт БелНИИС»

Защита состоится 27 декабря 2002 г. в 14-00 на заседании совета по защите диссертаций К.02.09.01 при Учреждении образования «Брестский государственный технический университет» по адресу: 224017, г.Брест, ул.Московская, 267, ауд. 323, телефон ученого секретаря 42-02-94

Отзывы просим направлять по адресу: 224017, г.Брест, ул. Московская, 267, УО «БГТУ», ученому секретарю Совета, тел (0162) 420294

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Брестский государственный технический университет»

Автореферат разослан 25 ноября 2002 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
к.т.н., доц.

В.Л. Шевчук

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность темы диссертации.* Для повышения эффективности строительства в условиях перехода Республики Беларусь к рыночной экономике необходим поиск путей снижения стоимости применяемых строительных материалов и вовлечение в сферу производства образующихся в промышленном комплексе отходов производства. Здания из кирпича являются одними из основных видов строящихся объектов. Удешевление строительства зданий возможно за счет снижения стоимости применяемых материалов.

В кладочных растворах основным методом обеспечения комплекса нормируемых показателей качества строительных растворов является использование добавок-модификаторов. Применяемая в настоящее время в цементных кладочных растворах добавка извести является дорогостоящей, для ее использования требуется предварительная подготовка – гашение, изготовление известкового молока. В ряде случаев добавка не обеспечивает комплекс нормируемых показателей качества.

Известно большое количество разработанных добавок-заменителей извести, представляющих собой тонкодисперсные и поверхностно-активные вещества, а также их сочетания. В качестве тонкодисперсных добавок опробованы различные шламы, золы и другие отходы промышленности. Особо перспективным считается применение в кладочных растворах карбонатных тонкодисперсных веществ.

Для Республики Беларусь актуальной является проблема поиска путей утилизации карбонатных шламов водоочистки. Так, в среднем по республике на одного городского жителя ежегодно образуется 3-4 кг осадка (по сухому веществу). Большое количество шлама водоочистки накапливается на тепловой электростанции г. Новополоцка - 12 тонн шлама ежедневно.

Эффективность работы минеральных дисперсных наполнителей возрастает в сочетании с пластифицирующим компонентом. В республике выпускается из доступного сырья пластифицирующая добавка СПС, поэтому разработка на базе шлама и пластификатора добавки-заменителя извести является актуальной.

*Цель и задачи исследования.* Целью работы является разработка пластифицирующей добавки для кладочных растворов и методики подбора их рациональных составов. Для достижения поставленной цели решался ряд задач, основными из которых являлись:

1. Изучение химического и минералогического состава шламов водоочистки и их стабильности;
2. Разработка композиции пластифицирующей добавки-заменителя извести (добавки ЗИ);

3. Исследование физико-химических процессов взаимодействия шлама с пластификатором СПС в составе добавки ЗИ;

4. Исследование физико-механических свойств растворных смесей и растворов, модифицированных добавкой ЗИ и ее компонентами;

5. Разработка методики определения составов кладочных растворов с добавкой ЗИ.

*Научная новизна полученных результатов:*

1. Разработана новая пластифицирующая добавка-заменитель извести для кладочных растворов с использованием шлама водоочистки в качестве одного из ее компонентов;

2. Установлено, что сульфат натрия, входящий в состав пластификатора СПС, диспергирует частицы шлама, что позволяет отнести добавку ЗИ к водоудерживающим добавкам, снижающим расслаиваемость;

3. Экспериментальные данные, модели прочности раствора, водоудерживающей способности и расслаиваемости растворной смеси и оптимальные соотношения компонентов добавки ЗИ в зависимости от назначения и марки раствора;

4. Закономерности, характеризующие влияние добавки ЗИ на свойства растворной смеси и раствора;

5. Методика определения состава кладочных растворов, модифицированных добавкой ЗИ.

*Практическая значимость полученных результатов* заключается в том, что разработанная добавка ЗИ на основе доступных сырьевых материалов Республики Беларусь и рекомендации по подбору составов кладочных растворных смесей позволяют утилизировать шлам водоочистки – получить экологический эффект. Расход и стоимость добавки ЗИ для кладочных растворов в 2-3 раза ниже расхода и стоимости извести.

Разработаны и утверждены технические условия на пластифицирующую добавку ЗИ для строительных растворов и рекомендации по ее применению в кладочных растворах. Наличие сырьевой базы дает возможность использовать добавку ЗИ на всей территории Республики Беларусь.

*Основные положения диссертации, выносимые на защиту:*

1. Состав пластифицирующей добавки на основе шлама водоочистки;

2. Механизм взаимодействия пластификатора СПС со шламом водоочистки, обеспечивающий комплекс нормируемых показателей качества кладочных растворов;

3. Экспериментальные данные о физико-механических свойствах растворных смесей и растворов, модифицированных добавкой ЗИ;

4. Закономерности изменения водоудерживающей способности и расслаиваемости растворной смеси, прочности раствора, позволяющие определить оптимальный состав добавки ЗИ;

5. Методика подбора составов кладочных растворов с разработанной пластифицирующей добавкой.

*Личный вклад соискателя.* Диссертация представляет самостоятельный труд автора, выполненный на кафедре строительного производства Полоцкого государственного университета.

*Апробация результатов диссертации.* Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на:

- пятой республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов Республики Беларусь (НИРС - 2000), г.Гродно, 2000 г.;
- международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов», г.Минск, 2000 г.;
- шестом международном научно-методическом семинаре «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», г.Минск, 2000 г.;
- шестой республиканской научной конференции студентов и аспирантов Беларуси (НИРС - 2001), г.Витебск, 2001 г.;
- международной научно-технической конференции «Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов», г.Минск, 2001 г.

*Опубликованность результатов.* Основные положения диссертации и результаты исследований опубликованы в 10 печатных работах, в том числе опубликована заявка на патент «Строительная смесь». Получен патент № 776 «Устройство для определения расслаиваемости строительной растворной смеси».

*Объем работы.* Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения и приложений. Она содержит 125 страниц, 38 рисунков, 44 таблицы, 5 приложений, список использованных источников из 154 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализирован опыт применения пластифицирующих добавок для кладочных растворов, основные из которых представлены различными тонкодисперсными наполнителями в отдельности, а также совместно с гидрофобно- или гидрофильно-пластифицирующими ПАВ, а также их сочетаниями.

Существенный вклад в исследование добавок для строительных растворов, в разработку теоретических основ и практических путей направленного регулирования свойств модифицированных цементных композиций внесли результаты исследований И.Н. Ахвердова, Ю.М. Баженова, В.Г. Батракова, Н.П. Блещика, Л.И. Дворкина, М.Ю. Лещинского, Н.А. Попова, В.Б. Ратинова, П.А. Ребиндера, Б.Г. Скрамтаева, В.И. Сорокера, М.И. Хигеровича и других.

В настоящее время в Республике Беларусь для обеспечения комплекса технологических свойств цементных кладочных растворов в качестве добавки применяют строительную известь. Использование извести ведет к

удорожанию растворов, не всегда позволяет обеспечить требуемые параметры растворных смесей.

В опубликованных работах разработанные добавки – заменители извести могут быть отнесены к группам неорганических или органических модификаторов кладочных растворов.

Выполненный анализ неорганических добавок показывает, что большинство из них имеют те или иные недостатки. При использовании в качестве добавок побочных продуктов или отходов производства существенным недостатком является непостоянство химического состава, при этом большинство из них, обеспечивая подвижность, нерасслаиваемость и водоудерживающую способность растворной смеси, не обеспечивают прочностные характеристики растворов.

В ряде случаев предлагаемые добавки являются малоперспективными для практического использования, так как представляют собой вторичные продукты отдельных предприятий и образуются в небольших объемах. Получение отдельных добавок предполагает переработку отходов, которая может проходить в несколько стадий (сушка, помол и т.д.). Все это ведет к увеличению стоимости пластификатора и делает экономически невыгодным его применение.

Использование органических добавок также имеет ряд недостатков. Добавки-пептизаторы рекомендуется применять только для растворов марки 100 и выше, так как в растворах более низких марок вяжущее присутствует в недостаточном количестве для проявления эффекта пластификации.

Добавки-микроренообразователи рекомендуется применять для «тощих» растворных смесей. Образующиеся пузырьки воздуха как бы заменяют недостающее цементное и известковое тесто в растворной смеси. Однако микроренообразователи понижают прочность кладки и поэтому эффективны только для малоэтажного строительства, где прочность кладки полностью не используется.

Разработан ряд комплексных добавок, предусматривающих совместное использование органического пластификатора и тонкодисперсного наполнителя, позволяющих исключить применение извести в цементных кладочных растворах. Роль тонкомолотого наполнителя заключается в улучшении технологических свойств растворной смеси (удобоукладываемости, водоудерживающей способности, нерасслаиваемости) за счет высокой дисперсности. Одними из наиболее распространенных и перспективных микронаполнителей по данным опубликованных исследований являются карбонатосодержащие добавки.

Анализ разработанных и применявшихся в строительной практике добавок для кладочных растворов показывает, что альтернативой извести может быть комплексная добавка, включающая пластифицирующий компонент и карбонатный микронаполнитель. В качестве таких составляющих комплексной добавки возможно использование выпускаемого в Республике

Беларусь пластификатора СПС и карбонатосодержащего компонента - шлама водоочистки.

Во второй главе приведены характеристики материалов и использованные методики исследований. В диссертационной работе применялись стандартные и разработанные методики и оборудование. Определение расслаиваемости растворной смеси выполнялось с применением новой формы (патент РБ № 776). Для оценки изменения пластичности шлама, содержащего пластификатор СПС, разработана методика, основанная на определении диаметра расплыва шламовой пасты. Предложены методики по определению наличия высолов на образцах кирпичной кладки и по сравнительным испытаниям на прочность кирпичных столбов.

Рассмотрен процесс образования шлама водоочистки при водоподготовке на тепловых электроцентралях. При умягчении воды для удаления бикарбонатов кальция и магния, а также сульфата магния используют известь в виде известкового молока. Затем вода обрабатывается сульфатом железа  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , который, являясь коагулянтом, осаждает все взвеси и примеси в виде коллоидной массы. В процессе коагуляции двухвалентное железо окисляется и переходит в гидроксид железа.

Скоагулировавшие частицы гидроксида железа соединяются в так называемые цепочки, на поверхности которых адсорбируются коллоидные примеси воды. В процессе построения цепочных структур, сочлененных в кольца, образуются поры, заполненные водой. Вследствие этого коагулянт содержит большое количество воды, удерживаемой частицами гидроксида железа.

В результате сорбции скоагулировавшимися частицами гидроксида железа коллоидных частиц, примесей, воды формируются хлопья. Укрупнившиеся хлопья оседают под действием силы тяжести, увлекая за собой взвешенные частицы. В производственных условиях отделение очищенной воды от шламов осуществляется на специальных аппаратах – осветлителях.

По данным концерна «Белэнерго» ежегодно на территории Республики Беларусь накапливается более 21 тыс. т шламов водоочистки. Выполненный анализ химического состава шламов за последние 5 лет позволяет сделать вывод о том, что основными соединениями, содержащимися в шламе, являются карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в количестве 62,8 - 68,2 % и основной карбонат магния ( $3\text{MgCO} \cdot \text{MgOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) в количестве 5,8 - 10,6 %.

Содержание остальных веществ колеблется в пределах:

- двуводный гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) от 3 до 9,5 %;
- гидрооксид железа ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) от 4,1 до 6,7 %;
- оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) от 0,5 до 4,7 %;
- силикат кальция ( $\text{CaSiO}_3$ ) от 3,9 до 6,6 %;
- органических соединений от 4,9 до 8,9 %.

Однотипный набор соединений и колебания химического состава шламов, не превышающие 6,5 % на разных тепловых электроцентралях по-

звolyают сделать вывод о возможности применения шламов любого региона нашей республики в качестве компонента добавки ЗИ.

На первом этапе выполнена оценка влияния исходного шлама водоочистки на основные свойства кладочных растворов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что растворные смеси, содержащие в качестве добавки шлам водоочистки, имеют высокую расслаиваемость, низкую водоудерживающую способность, а в ряде случаев более низкую подвижность и прочность, чем растворы с добавкой извести.

На втором этапе исследовались растворные смеси с комплексной добавкой из шлама водоочистки и пластификатора СПС. Полученные результаты представлены в табл. 1. В экспериментальных составах расход цемента составлял 160 кг, соотношение цемента и песка принято постоянным (1 : 9,7). Подвижность растворных смесей равна 8 см.

Таблица 1

Основные свойства растворов с пластифицирующими добавками

№ состава	Расход добавок, кг			В/Ц	Прочность, МПа	Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
	известь	шлам	СПС				
1	81,2	-	-	2,03	7,51	9,0	96,6
2	-	-	2,24	2,03	7,55	17,1	95,2
3	-	24,4	2,24	1,78	7,74	8,3	97,2
4	-	24,4	1,92	1,83	7,69	8,7	96,9
5	-	24,4	1,6	1,87	7,65	9,0	96,7
6	-	32,5	2,24	1,83	7,64	7,4	97,5
7	-	32,5	1,92	1,87	7,6	8,0	97,2
8	-	32,5	1,6	1,92	7,55	8,5	97,0

Использование в растворных смесях только пластификатора СПС (состав 2) ведет к увеличению расслаиваемости и снижению водоудерживающей способности. Применение в качестве добавки смеси шлама и пластификатора СПС (составы 3-5) позволяет достигнуть основным показателям качества растворной смеси и раствора контрольных значений состава 1. Нормируемые показатели достигнуты при разном вводе шлама (30 и 40 % от массы извести), а также расходе пластификатора от 1,6 до 2,24 % от массы цемента. Использование пластификатора СПС позволило снизить водоцементное отношение, повысить водоудерживающую способность и снизить расслаиваемость до контрольных значений.



Таким образом в пластифицирующей добавке ЗИ эффект от использования шлама и пластификатора СПС не является простым суммированием эффектов от использования каждой добавки в отдельности. Добавка ЗИ позволяет получить нормируемые качественные показатели по расслаиваемости, водоудерживающей способности с одновременной возможностью снижения водоцементного отношения (Заявка на патент № а19991091).

Выполнена оценка стабильности составов используемых шламов (образующихся при различных погодных и сезонных условиях) на свойства кладочных смесей и растворов. Установлено, что отклонения нормируемых показателей качества – подвижности, прочности, расслаиваемости и водоудерживающей способности не превысили 8 %. Следовательно, возможно круглогодичное использование шламов без дополнительной корректировки состава добавки ЗИ.

В третьей главе по результатам экспериментальных исследований получены математические модели прочности кладочных растворов, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворных смесей с добавкой ЗИ. Выполнено обоснование выбора плана эксперимента, а также приведены результаты проверки адекватности и значимости полученных моделей.

Для растворов низких и средних марок (М25 - М100) исследования проведены с использованием цемента ПЦ400 Д20. В качестве варьируемых факторов приняты расход цемента (от 80 до 260 кг), шлама (от 20 до 50 % расчетного расхода извести), пластификатора СПС (от 0,8 до 2,4 % массы цемента), подвижность растворной смеси (от 6 до 11 см).

В натуральных обозначениях факторов модели имеют вид:  
прочность в возрасте 28 суток –

$$R = -0,667 + 0,045 \times I + 0 \times 0 \times I^2 + 0 \times 0 \times II^2 + 0,264 \times ПС^2 - 0,397 \times 0 \times T^2 - 0,2 \times 0 \times I \times II - 0,017 \times 0 \times I \times T \quad (1)$$

расслаиваемость –

$$P = 14,191 + 0,032 \times I - 2,655 \times T - 7,3 \times 10^{-5} \times I^2 - 1,565 \times 10^{-3} \times II^2 - 0,412 \times ПС^2 + 0,263 \times T^2 + 1,82 \times 10^{-4} \times I \times II - 2 \times 10^{-3} \times I \times T \quad (2)$$

водоудерживающая способность –

$$B = 95,83 + 0,014 \times I - 2,7 \times 10^{-5} \times I^2 + 4,02 \times 10^{-4} \times II^2 + 0,126 \times ПС^2 - 0,01 \times T^2 - 8,1 \times 10^{-5} \times I \times II \quad (3)$$

С целью определения оптимального соотношения компонентов добавки ЗИ для растворов средних и высоких марок (М75 - М200) использовали цемент ПЦ500 Д20. Варьировали расход цемента (от 160 до 360 кг),

шлама (от 20 до 50 % расчетного расхода извести), пластификатора СПС (от 0,8 до 2,4 % массы цемента), подвижность растворной смеси (от 6 до 11 см).

В натуральных обозначениях факторов модели имеют вид:  
прочность в возрасте 28 суток –

$$R_{28} = EXP(-0,165 + 0,652 \times nЦ^2 - 0,037 \times nШ^2 + 0,09 \times nСПС^2 - 0,052 \times nП^2) \quad (4)$$

расслаиваемость –

$$P = 7,166 + 0,032 \times Ц - 1,572 \times ПС - 1,446 \times Т - 1,7 \times 10^{-7} \times Ц^2 + 5,97 \times 10^{-7} \times Ш^2 + 0,393 \times ПС^2 + 0,315 \times Т^2 - 0,35 \times 10^{-7} \times Ц \times Т; \quad (5)$$

водоудерживающая способность –

$$B = 97,988 - 7,4 \times 10^{-3} \times Ц + 1,7 \times 10^{-5} \times Ц^2 + 3,45 \times 10^{-4} \times Ш^2 - 0,021 \times ПС^2 - 0,013 \times Т^2 - 4,8 \times 10^{-5} \times Ц \times Ш + 1,53 \times 10^{-3} \times Ц \times ПС + 1,48 \times 10^{-4} \times Ц \times Т \quad (6)$$

По математическим моделям получены графические зависимости, позволившие определить для каждой марки раствора с учетом подвижности растворной смеси диапазон дозировок компонентов добавки ЗИ, обеспечивающих одновременно требуемую прочность раствора, нерасслаиваемость и водоудерживающую способность растворной смеси.

С учетом минимизации расхода пластификатора СПС, как наиболее дорогой составляющей добавки, найдены соотношения компонентов добавки ЗИ. При использовании цемента ПЦ400 Д20 рекомендуются следующие соотношения компонентов: для раствора М100 - 14:1 (шлам : пластификатор СПС); для раствора М75 - 17:1; для раствора М50 - 23:1; для раствора М25 - 29:1. При применении цемента ПЦ500 Д20 рекомендуются следующие соотношения компонентов: для раствора М200 - 6:1; для раствора М150 - 11:1; для раствора М100 - 14:1; для раствора М75 - 21:1.

Обобщая полученные результаты можно рекомендовать следующие соотношения компонентов: для растворов низких марок М25 и М50 - 23:1; средних марок М75 и М100 - 14:1; высоких марок М150 и М200 - 6:1. В исследованиях использован шлам с концентрацией 50 %. Рекомендуемые соотношения компонентов добавки ЗИ в пересчете по сухому веществу: для растворов низких марок М25 и М50 - 11:1; средних марок М75 и М100 - 7:1; высоких марок М150 и М200 - 3:1.

С использованием полученных результатов разработана методика расчета состава кладочных растворов с добавкой ЗИ. Теоретический расчет начального состава раствора рекомендуется производить по методике, изложенной в СН 290.

Расход шлама по массе  $m_{шл}$  в кг на 1 м<sup>3</sup> раствора ориентировочно определяется по формуле:

$$m_{шл} = (5,7 \times 1 - 0,002 \times n_{ц}), \quad (7)$$

где  $m_{ц}$  – расход цемента в кг, принимаемый по СН 290.

По марке раствора из табл. 2 определяется соотношение компонентов добавки ЗИ.

Таблица 2

Расчетные соотношения компонентов добавки ЗИ

Марка раствора	Соотношение компонентов добавки ЗИ	Коэффициент $K_{СПС}$
25-50	11:1	11
75-100	7:1	7
150-200	3:1	3

Расход пластификатора СПС по массе  $m_{СПС}$  в кг на 1 м<sup>3</sup> раствора вычисляется по формуле:

$$m_{СПС} = m_{шл} : K_{СПС}, \quad (8)$$

где  $K_{СПС}$  – коэффициент, принимаемый по табл. 2.

В четвертой главе рассмотрена гипотеза о диспергирующем воздействии пластификатора СПС на шлам водоочистки в процессе их перемешивания и, как следствие, наблюдаемое снижение расслаиваемости и повышение водоудерживающей способности растворной смеси при введении добавки ЗИ.

С целью подтверждения выдвинутого предположения проведен седиментационный анализ шлама водоочистки и добавки ЗИ при введении пластификатора СПС в количестве от 2 до 10 % (от массы шлама). По результатам седиментационного анализа и построенным седиментационным, интегральным и дифференциальным кривым (рис. 1) определены размеры частиц и процентное содержание фракций шлама в составе добавки ЗИ при различном вводе пластификатора СПС.

Дифференциальная кривая распределения частиц шлама по размерам позволяет установить, что максимальное количество - 20 % составляют частицы с эквивалентным радиусом 7-8 мкм, а минимальный радиус частиц, определенный по результатам седиментационного анализа, равен 3,7 мкм. Для шлама, содержащего пластификатор СПС в количестве 4 %, наибольшее количество - 23,5 % представлено частицами с эквивалентным радиусом 3-4 мкм, при этом минимальный радиус частиц соответствует 2,6 мкм.

Дальнейшее увеличение дозировки пластификатора до 10 % позволяет уменьшить минимальный радиус частиц шлама до 1,9 мкм, что в 2 раза меньше минимального радиуса частиц шлама без добавки СПС. Полученная дифференциальная кривая распределения указывает на то, что максимальное количество - 46 % составляют частицы радиусом 2-3 мкм. При дозировке пластификатора СПС более 10 % от массы шлама снижения размеров частиц и изменения соотношения фракций в составе шлама не наблюдается.

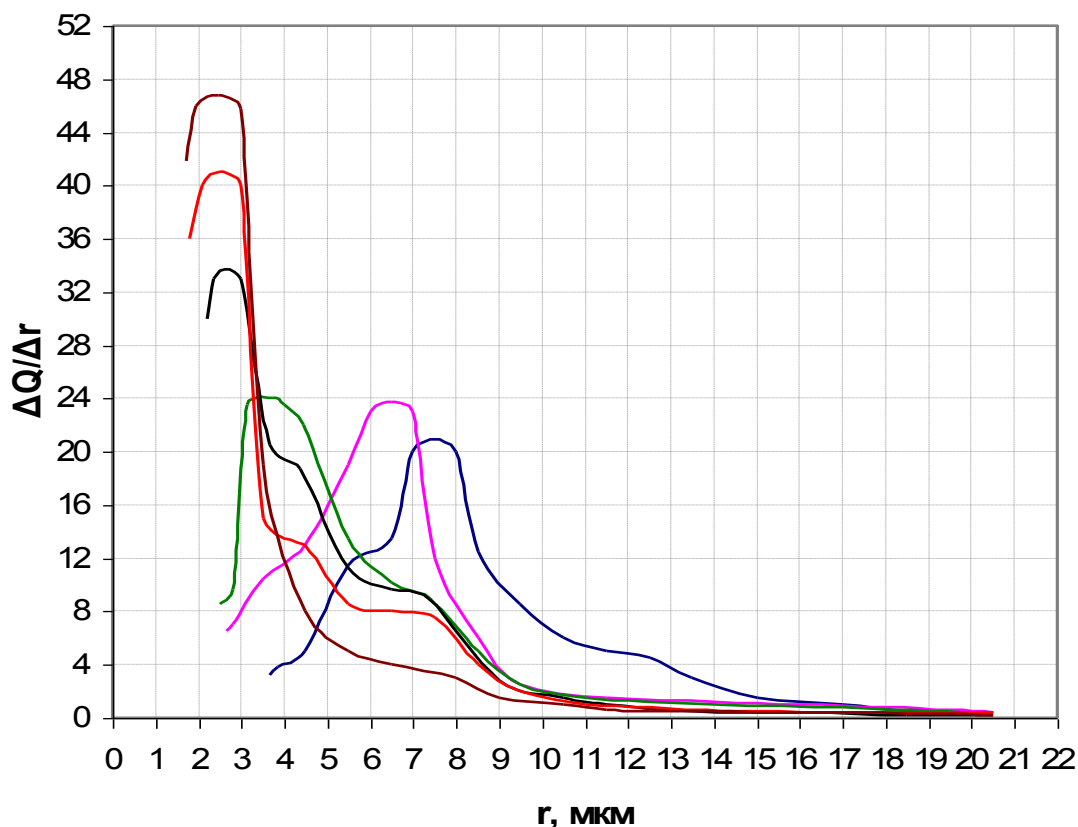


Рис. 1. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам  
 1 - шлам; 2 - шлам+СПС 2 %; 3 - шлам+СПС 4 %;  
 4 - шлам+СПС 6 %; 5 - шлам+СПС 8 %; 6 - шлам+СПС 10 %

Полученные результаты седиментационного анализа позволяют сделать вывод о том, что пластификатор СПС при добавлении к шламу водочистки воздействует на последний как диспергатор. Пластификатор СПС изменяет фракционный состав шлама не только в сторону уменьшения минимального размера частиц, но и увеличения их количества.

Для подтверждения полученных результатов и выводов проведен микроскопический анализ с использованием микроскопа «Axiovert-10» по стандартной методике. Размеры частиц шлама определяли при увеличении 500 крат. Результаты микроскопического анализа проб шлама и шлама, содержащего пластификатор в количестве 2-10 %, подтвердили данные седи-

ментационного анализа по установленным размерам частиц и их процентному содержанию по фракциям (рис. 2, 3).

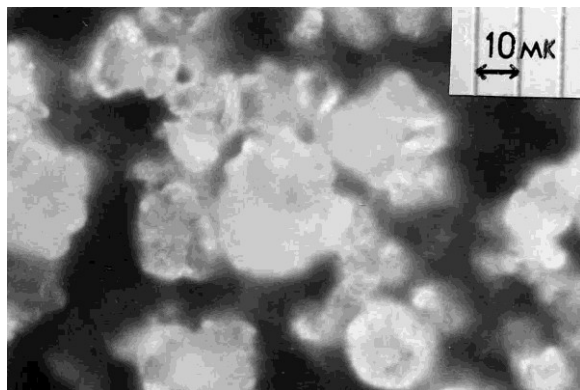


Рис. 2. Частицы шлама водоочистки

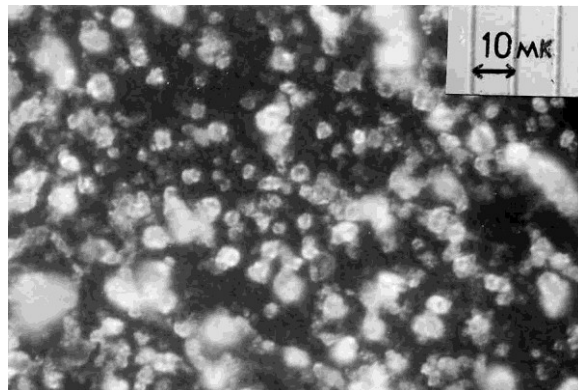


Рис. 3. Частицы шлама в составе добавки ЗИ с содержанием 10 % пластификатора СПС

Известно, что к водоудерживающим и снижающим расслаиваемость относятся добавки, состоящие из частиц, большинство которых имеет диаметр менее 10 мкм. Исходя из результатов седиментационного анализа в добавке ЗИ частиц размером менее 10 мкм содержится 73 %. Следовательно, разработанную добавку можно отнести к пластифицирующим водоудерживающим добавкам, снижающим расслаиваемость и этот вывод согласуется с результатами, приведенными в табл. 1.

Для выяснения механизма диспергирования исследовали пластичность шлама при различном вводе пластификатора СПС и его составляющих. Изменение диаметра расплыва шламовой пасты под действием силы тяжести оценивалось с использованием мини-конуса НИИЖБ. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение диаметра расплыва шлама водоочистки в зависимости от количества вводимого пластификатора СПС

Содержание пластификатора СПС в шламе, %	Диаметр расплыва шлама в зависимости от времени выдержки, мин							
	10	60	90	120	180	240	300	360
-	7	7	7	7	7	7	7	7
2	8	8,7	9,3	9,9	10,3	10,7	11	11
4	9,0	9,8	10,6	11,9	12,6	13	13	-
6	10,5	11,7	12,5	13,7	14	14	-	-
8	13,0	14,3	14,9	15,2	15,2	-	-	-

10	15,5	16,0	16,5	16,5	-	-	-	
12	15,5	16,0	16,5	16,5	-	-	-	-

Диаметр расплыва шлама, не содержащего пластификатор СПС, составляет 7 см и остается неизменным с течением времени. Максимальный диаметр 16,5 см соответствует содержанию 10 % пластификатора СПС. При введении 12 % не происходит увеличение расплыва шлама.

Таким образом, с ростом дозировки добавки СПС увеличивается расплыв шлама и сокращается время, за которое диаметр расплыва достигает своего наибольшего значения. По сравнению с чистым шламом расплыв шлама, содержащего пластификатор СПС в количестве 10 %, увеличивается в 2,3 раза.

Для объяснения причины увеличения пластичности шлама после перемешивания с добавкой СПС исследовали изменение пластичности шлама, содержащего по отдельности компоненты пластификатора - сульфат натрия и органическую составляющую.

В пластификаторе СПС на долю сульфата натрия приходится около 60 %, а остальная часть представлена органическими соединениями. При введении сульфата натрия в количестве 6 % диаметр расплыва шлама составил 16,5 см. Эта дозировка соответствует количеству сульфата натрия, содержащемуся в пластификаторе СПС при расходе последнего в количестве 10 % от массы шлама и обеспечивающему расплыв 16,5 см (табл. 3).

Микроскопический анализ суспензии шлама с сульфатом натрия дает идентичную картину распределения частиц по размерам, как и в случае введения 10 % пластификатора СПС.

Следовательно, сульфат натрия при перемешивании со шламом разрушает цепочные структуры гидроксида железа, образующиеся в процессе коагуляции. Расщепление хлопьев происходит по следующей химической реакции:



Прохождение химической реакции (9) подтверждается изменением водородного показателя (рН) добавки ЗИ в сторону увеличения. Водородный показатель шлама равен 8,6, пластификатора СПС - 8,1. После перемешивания компонентов водородный показатель добавки ЗИ составляет 9,5.

Цепочные структуры (хлопья) удерживают в себе воду, а в процессе разрушения цепочек гидроксида железа происходит ее освобождение. Поступление дополнительного количества воды объясняет увеличение расплыва шлама при введении сульфата натрия, несмотря на диспергирование частиц.

Выполненные исследования позволили сделать вывод о том, что сульфат натрия в составе пластификатора СПС диспергирует частицы шлама водоочистки. В тоже время сочетание компонентов - шлама и сульфата

натрия, как показали дальнейшие исследования (табл. 4), не позволяет обеспечить достижение комплекса нормируемых показателей кладочных растворов. В исследуемых составах расход цемента составил 160 кг, соотношение цемента и песка принято постоянным (1:9,7). Подвижность растворов смесей равна 9 см.

Таблица 4

## Основные свойства растворов смесей с добавками

№ состава	Расход добавок, кг				В/Ц	Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
	известь	шлам	СПС	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
1	81,2	-	-	-	2,15	10,0	96,1
2	-	24,4	-	-	2,15	19,3	94,3
3	-	24,4	-	1,15	2,15	14,9	94,8
4	-	24,4	2,72	-	1,94	9,8	96,8

Из данных табл. 4 следует, что значения расслаиваемости и водоудерживающей способности растворов смесей составов 2 и 3 не соответствуют требованиям ГОСТ 28013. Показатели цементно-известковой и смеси с добавкой ЗИ (составы 1, 4) соответствуют требованиям стандарта. Достигнуть на растворной смеси с добавкой ЗИ показателей цементно-известкового состава позволяет снижение водоцементного отношения за счет пластифицирующего воздействия добавки СПС, а именно, ее органической составляющей на цемент.

Таким образом, доказано диспергирующее воздействие сульфата натрия в составе пластификатора СПС на шлам водоочистки. Дано объяснение механизма действия добавки ЗИ в растворах смесей как результата сочетания эффекта от диспергирования шлама пластификатором СПС и его пластифицирующего воздействия на цемент.

В п я т о й г л а в е приведены результаты исследований свойств кладочных растворов смесей и растворов с добавкой ЗИ.

С целью выяснения срока возможного применения растворной смеси оценивалось изменение подвижности с течением времени. Исследования проводились на цементном, цементно-известковом, а также растворах с добавкой ЗИ. Установлено увеличение жизнеспособности кладочных растворов с 4,5 до 8-10 часов при использовании вместо известки добавки ЗИ. Это позволяет ограничиться одноразовым завозом раствора на объект в течение смены, что в свою очередь снижает затраты на транспортировку.

Исследовалось влияние цементов (ПЦ400 Д20 и ПЦ500 Д20), выпускаемых всеми цементными заводами Республики Беларусь на значения

прочности, подвижности, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворов, содержащих добавку ЗИ. Основные показатели при подвижности растворных смесей 8 см изменяются в следующих пределах: прочность растворов 7,59-7,7 МПа, расслаиваемость 8,3-8,7 %, водоудерживающая способность 96,7-97,1 %. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования цементов разных заводов для изготовления кладочных растворов с добавкой ЗИ.

Изучена кинетика набора прочности кладочным раствором в течение года. Подтверждена идентичность роста прочности растворов с использованием извести и добавки ЗИ. Через 360 суток твердения прочностные показатели превышали значения в возрасте 28 суток на 50-70 %.

Растворы с добавкой ЗИ имеют более низкие показатели водопоглощения по массе (7,2-7,65 %) и объему (12,9-13,7 %) в сравнении с цементно-известковым раствором - 8,9 % и 16,2 % соответственно. Введение добавки ЗИ позволяет снизить величину падения прочности раствора в водонасыщенном состоянии, наблюдаемую у контрольного (цементно-известкового) раствора в 1,5-2 раза.

По стандартной методике оценивалась возможность появления высолов при использовании кладочных растворов с добавкой ЗИ. Отсутствие выцветов и налета соли в течение 7 суток на образцах позволило сделать вывод о возможности применения добавки ЗИ в растворе. Дополнительно разработана методика оценки появления высолов на образцах кирпичной кладки. Отсутствие высолов на боковых гранях образцов как на растворе, так и на кирпиче в течение 7 суток также свидетельствует о возможности применения раствора с добавкой ЗИ для кирпичной кладки, на поверхности которой не допускается образование высолов.

Выполнены сравнительные испытания цементно-известкового и растворов с добавкой ЗИ на морозостойкость. Согласно требованиям СНиП II-22 (изменение №1) марка по морозостойкости кладочных растворов для наружных стен должна быть не ниже F50. В соответствии с требованиями ГОСТ 5802 потеря прочности испытываемых образцов после 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания должна составлять не более 25 %.

Испытания на морозостойкость показали, что изменений прочности растворов М 50 и потери массы не наблюдалось после 50 циклов. Осмотр поверхности после 65 циклов выявил на поверхности как контрольных (цементно-известковых) так и образцов с добавкой ЗИ шелушение, при этом значения падения прочности вплотную приблизились к предельно допустимому и составили 21,1-24,9 %. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что марка по морозостойкости кладочных цементных растворов с добавкой ЗИ идентична показателю цементно-известкового раствора и соответствует требованиям СНиП II-22.

Проведены испытания по определению прочности сцепления растворов с кирпичом. Для цементно-известкового раствора прочность сцепления



составила 0,12 МПа, для раствора с добавкой ЗИ - 0,19 МПа. Таким образом, прочность сцепления раствора с добавкой ЗИ на 35 % выше, чем у раствора с добавкой извести. Кроме того, при испытании образцов на цементно-известковом растворе разрушение происходило по границе контакта раствора с кирпичом, а в образцах на растворе с добавкой ЗИ разрушение происходило по растворному шву, что также указывает на более высокую адгезионную способность раствора с добавкой ЗИ.

Исходя из полученных результатов, согласно требованиям СНиП II-7 кладка на цементно-известковом растворе относится к I категории ( $0,12 \text{ МПа} \leq R_{bf} < 0,18 \text{ МПа}$ ), а кладка на цементном растворе с добавкой ЗИ ко II категории ( $R_{bf} \geq 0,18 \text{ МПа}$ ) по сопротивляемости сейсмическим воздействиям. Таким образом, применение раствора с добавкой ЗИ позволяет повысить монолитность кладки зданий.

При исследовании прочности и относительных деформаций каменной кладки на растворе с добавкой ЗИ испытания проводили на кирпичных столбах. В качестве контрольных приняты столбы на цементно-известковом растворе. В результате испытаний установлено, что столбы изготовленные на растворах со сравнимаемыми добавками имеют практически одинаковую разрушающую нагрузку, равную предельной прочности на сжатие используемого керамического кирпича (16,2 МПа).

Испытания показали, что при одинаковых напряжениях относительные деформации столбов на цементном растворе с добавкой ЗИ ниже, чем у столбов на цементно-известковом растворе. Так, при максимальной нагрузке для столбов на цементно-известковом растворе относительные деформации достигли  $3,99 \cdot 10^{-3}$ , а для столбов на цементном растворе с добавкой ЗИ -  $2,96 \cdot 10^{-3}$ . А это на 25 % меньше показателя контрольных столбов.

Более низкие относительные деформации столбов на цементном растворе с добавкой ЗИ обусловлены более низкими относительными деформациями самого цементного раствора с добавкой ЗИ по сравнению с цементно-известковым раствором. Для подтверждения этого дополнительно были изготовлены призмы размерами 70x70x280 мм из цементно-известкового и цементного раствора с добавкой ЗИ. По стандартной методике призмы нагружались и измерялись относительные деформации. При максимальном напряжении для цементно-известкового раствора (7,53 МПа) деформации достигли  $1,53 \cdot 10^{-3}$ , а для цементного раствора с добавкой ЗИ -  $1,09 \cdot 10^{-3}$ . Таким образом, деформации цементно-известкового раствора превысили показатели цементного раствора с добавкой ЗИ на 29 %.

Определены модули упругости для растворов по ГОСТ 24452. Так, для цементно-известкового раствора модуль упругости  $E_b = 11,9 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ , а для цементного с добавкой ЗИ -  $E_b = 16,4 \cdot 10^3 \text{ МПа}$ .

Выполненные в диссертационной работе исследования позволяют сделать вывод о возможности обеспечить при использовании добавки ЗИ

комплекса технологических и эксплуатационных свойств кладочных растворов смесей и растворов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что с использованием доступных вторичных сырьевых ресурсов Республики Беларусь возможно создание эффективной добавки для кладочных растворов, расход и стоимость которой в 2-3 раза ниже применяемой в настоящее время извести /1-10/.

2. На основании результатов экспериментальных исследований, выполненных с использованием методов математического планирования эксперимента и статистических методов обработки экспериментальных данных, получены корреляционные зависимости по водоудерживающей способности, расслаиваемости растворов смесей, прочности растворов, на основании которых определены оптимальные соотношения компонентов добавки ЗИ для растворов разных марок и назначения /3-6/.

3. С использованием седиментационного и микроскопического методов анализа, результатов исследования пластичности дано объяснение механизма действия добавки ЗИ в растворах смесей как результата сочетания эффекта от диспергирования шлама пластификатором СПС и его пластифицирующего воздействия на цемент /7, 8/.

4. Выявлены преимущества разработанной добавки – заменителя извести, заключающиеся в увеличении в 2 раза жизнеспособности растворов смесей, возрастании на 35 % прочности сцепления с кирпичом, снижении деформативности кладки под нагрузкой. При этом обеспечиваются нормативные требования к растворам по морозостойкости, отсутствию высолов, степени стойкости к воздействию воды, прочности растворов при длительных испытаниях. Следовательно, при использовании добавки ЗИ обеспечивается комплекс характеристик кладки, гарантирующий ее несущую способность, монолитность, долговечность и эксплуатационную надежность /8, 9/.

5. Результаты научных исследований реализованы в разработанной методике расчета составов кладочных растворов с добавкой ЗИ, рекомендациях по их применению, технических условиях на добавку ЗИ, а также при опытно-промышленном внедрении /4, 6, 10-12/.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Бакатович А.А. Заменитель извести для кладочных растворов // Материалы XXVIII студенческой научной конференции Полоцкого государственного университета / Полоцкий гос. ун-т. - Новополоцк, 1999. - С. 134-136.

2. Бакатович А.А., Бозылев В.В. Эффективный модификатор кладочных растворов на основе шлама водоочистки // Новые технологии рециклинга вторичных ресурсов: Материалы докладов Международной научно-технической конференции, Минск, 24-26 октября 2001г. / Бел. гос. технолог. ун-т. - Мн., 2001. - С. 218-221.

3. Бакатович А.А. Комплексная добавка для кладочных растворов // V Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов Республики Беларусь (НИРС - 2000): Материалы научн. конф., Гродно, 25-27 апр. 2000 г. В 5 ч. Ч. 5. / Гродненский гос. ун-т. - Гродно, 2000. - С. 247-249.

4. Бакатович А.А., Бозылев В.В. Комплексная добавка на основе шлама водоочистки для строительных растворов // Перспективы развития новых технологий в строительстве и педагогике инженерных кадров республики Беларусь: Материалы VI Международного научно-методического семинара, Минск, 17-20 окт. 2000г. / Бел. гос. политехн. акад. Респ. образоват. центр. - Мн., 2000. - С. 7-11.

5. Бакатович А.А., Бозылев В.В. Использование шлама водоочистки в строительных растворах // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы докладов Международной научно-технической конференции, Минск, 9 - 10 ноября 2000 г. / Бел. гос. технолог. ун-т. - Мн., 2000. - С. 206-209.

6. Бакатович А.А., Бозылев В.В. Исследование строительных растворов, модифицированных комплексной добавкой - заменителем извести // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений: Сб. тр. / Под ред. Д.Н. Лазовского. - Мн.: УП «Технопринт», 2001. - С. 20-27.

7. О механизме действия в растворах заменителя извести на основе шлама водоочистки / Бакатович А.А., Бозылев В.В. // Вестник Брестского госуд. технич. ун-та. Архитектура и строительство. - 2002. - № 2. - С. 35-38.

8. Безывестковые кладочные растворы / Бакатович А.А., Бозылев В.В. // Строительные материалы. - 2002. - № 5. - С. 36-37.

9. Цементные кладочные растворы с комплексной добавкой – заменителем извести / Бакатович А.А., Бозылев В.В. // Архитектура и строительство. - 2002. - № 3. - С. 22-23.

10. ТУ РБ 300220696.307-2002. Пластифицирующая добавка ЗИ для строительных растворов. Опытная партия, 2002. - 11 с.

11. Заявка на патент № а19991091 ВУ, МКИ С 04В. Строительная смесь / Бозылев В.В., Бакатович А.А.; Заявл. 12.07.1999; Опубл. 30.06.2001 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. патэнтны камітэт Рэспублікі Беларусь. - 2001. - № 2. - С. 30.

12. Пат. № 776 ВУ, МПК 7 G 01N 1/18. Устройство для определения расслаиваемости строительной растворной смеси / Бакатович А.А. № и 20020141; Заявл. 05.15.2002; В печати // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. патэнтны камітэт Рэспублікі Беларусь. -2003. - № 1.



## РЕЗЮМЕ

Бакатович Александр Александрович

### **КЛАДОЧНЫЕ РАСТВОРЫ С ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ ШЛАМА ВОДООЧИСТКИ**

Кладочные растворы, шлам водоочистки, пластифицирующая добавка, механизм взаимодействия, прочность, водоудерживающая способность, расслаиваемость, подбор состава, нормативная документация.

Объектом исследования является пластифицирующая добавка, а также физико-механические свойства модифицированных ею кладочных растворов смесей и растворов.

Цель работы - разработка пластифицирующей добавки для кладочных растворов и методики подбора их рациональных составов. Исследования осуществлялись с использованием стандартных, а также предложенных автором методик и методов статистической обработки результатов экспериментов.

Разработана пластифицирующая добавка для кладочных растворов с использованием в качестве компонентов шлама водоочистки и пластификатора СПС. Раскрыт механизм взаимодействия компонентов новой добавки, позволяющий отнести ее к водоудерживающим добавкам, снижающим расслаиваемость. Полученные математические модели прочности раствора, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворной смеси с пластифицирующей добавкой позволили определить оптимальные соотношения ее компонентов в зависимости от назначения и марки раствора, а также разработать методику расчета состава кладочного раствора с добавкой.

Результаты исследований реализованы при экспериментальном внедрении и в изданных нормативных документах.

Область применения - строительные организации.

## РЭЗЮМЕ

Бакатовіч Аляксандр Аляксандравіч

### **КЛАДАЧНЫЯ РАСТВОРЫ З ПЛАСТЫФІКУЮЧАЙ ДАБАЎКАЙ НА АСНОВЕ ШЛАМУ ВОДААЧЫСТКІ**

Кладачныя растворы, шлам водаачысткі, пластыфікуючая дабаўка, механізм узаемадзеяння, трываласць, водаўтрымальная ўласцівасць, расслаіванне, падбор саставу, нарматыўная дакументацыя.

Аб'ектам даследвання з'яўляецца пластыфікуючая дабаўка, а так-сама фізіка-механічныя ўласцівасці мадэфікаваных ёю кладачных растворных сумесяў і раствораў.

Мэта работы – распрацоўка пластыфікуючай дабаўкі для кладачных раствораў і методыкі падбору іх рацыянальных саставаў. Даследаванні ажыццяўляліся з выкарыстаннем стандартных, а таксама прапанаваных аўтарам методык і метадаў статыстычнай апрацоўкі вынікаў эксперыментаў.

Распрацавана пластыфікуючая дабаўка для кладачных раствораў з выкарыстаннем у якасці кампанентаў шламу водаачысткі і пластыфікатара СПС. Адкрыты механізм узаемадзеяння кампанентаў новай дабаўкі, што дазваляе аднесці яе да водаўтрымальных дабавак, якія зніжаюць расслаіванне. Атрыманыя матэматычныя мадэлі трываласці раствору, расслаівання і водаўтрымальнай уласцівасці растворнай сумесі з пластыфікуючай дабаўкай дазволілі вызначыць аптымальныя суадносіны яе кампанентаў у залежнасці ад назначэння і маркі раствораў, а таксама распрацаваць методыку разліку састава кладачнага раствору з дабаўкай.

Вынікі даследавання рэалізаваны пры эксперыментальным укараненні і ў выдадзеных нарматыўных дакументах.

Галіна прымянення - будаўнічыя арганізацыі.

## SUMMARY

Bakatovitch Alecsandr Alecsandrovitch

### **MASONRY MORTARS WITH PLASTICIZED ADDITIONS ON THE BASIS OF WATER PURIFICATION SLAM**

Masonry mortars, water purification slam, plasticized addition, the way of interaction, strength, water retaining capability, division into layers, selection of ingredients, standard documents.

The object of the investigation is a plasticized addition in mortars and its physical and mechanical properties improved by it.

The aim of this study is work out of plasticized addition for masonry mortars and the system of their rational composition selection. The investigation was carried out using common and statistical methods of analysis of experiment results. Besides, the investigator offered the analysis of his own.

As a result of this investigation there was worked out plasticized addition for masonry mortars with water purification slam as a component for them and plasticizer RPS. The way of interaction of new addition components was discovered. And this allowed to consider it as a water retaining addition which reduces the division into layers. We got mathematical models of mortar strength, the division into layers and water retaining capability of mix with the plasticized addition and this allowed to determine coorelations of its constituents depending on the brand and purpose of mortar. In the course of this investigation the methods of calculation of mortar composition with this addition were worked out.

The results of this study were used in experimental application and standard documents published/

The branch of application – building companies.

Бакатович Александр Александрович

КЛАДОЧНЫЕ РАСТВОРЫ С ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ  
НА ОСНОВЕ ШЛАМА ВОДООЧИСТКИ

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Автореферат диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

---

Подписано в печать                      Формат 60x84/16. Печать ксероксная.  
Усл.печ.л. 1,16 Уч.-изд.л. 1,02. Тир.100 Зак.

---

Отпечатано на ризографе УО «ПГУ», 211440, Новополоцк, ул.Блохина, 29.