

На правах рукописи



Удодов Сергей Алексеевич

**ШТУКАТУРНЫЕ И КЛАДОЧНЫЕ СОСТАВЫ ПОНИЖЕННОЙ
ПЛОТНОСТИ ДЛЯ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов – на – Дону

2006

Работа выполнена на кафедре производства строительных изделий и конструкций Кубанского государственного технологического университета

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор,
заслуженный изобретатель РФ
Черных Виктор Федорович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Зубехин Алексей Павлович

кандидат технических наук, профессор
Юндин Александр Николаевич

Ведущая организация – Департамент строительства Краснодарского края

Защита состоится 26 декабря 2006 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д.212.207.02 при Ростовском государственном строительном университете по адресу: 344022, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, ауд. 232, т/ф 8-863-263-5310.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ростовского государственного строительного университета.

Автореферат разослан «24» ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор



Любовь Васильевна Моргунов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Строительная отрасль на Кубани в последние годы стремительно развивается. По итогам 2005 года Краснодарский край по объему работ, выполненных в строительстве, занимает пятое место в России (после Тюменской области, Москвы, Московской области и Санкт-Петербурга) и первое место в Южном федеральном округе. В 2006 году в рамках национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» ввод жилья из всех источников финансирования планируется довести до 2 млн. 600 тыс. квадратных метров.

Столь высокие темпы строительства требуют применения высокоэффективных строительных материалов. Одним из таких материалов, широко применяемых в строительстве, является ячеистый бетон, теплофизические свойства которого позволяют не только успешно применять его в составе многослойных конструкций стен, но и возводить эффективные однослойные ограждения.

Проблемным аспектом применения изделий из ячеистых бетонов является обеспечение должного уровня долговечности штукатурных покрытий и надежности совместной работы с растворами в кладке. Кроме того, применяемые плотные растворы снижают теплотехнические параметры ограждения. Для решения этих задач требуется разработка специальных штукатурных и кладочных составов пониженной плотности.

Только в 2003 году в нашей стране было произведено 1 млн. 400 тыс. м³ автоклавного и 600 тыс. м³ неавтоклавного ячеистого бетона. Значительная доля ячеистого бетона ввозится из-за рубежа. Это дает тонны отходов производства и применения ячеистого бетона.

В связи с этим, развитие научно обоснованных принципов создания долговечных и теплотехнически эффективных штукатурных и кладочных смесей для ячеистого бетона при одновременном решении

вопроса эффективного использования отходов, получаемых при его производстве и применении, является весьма актуальной проблемой.

Цель и задачи исследования. Целью работы является развитие научных представлений о повышении долговечности совместной работы растворов и ячеистобетонных оснований, а также разработка принципов создания долговечных штукатурных и кладочных смесей для ячеистого бетона посредством регулирования их вещественного состава.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить способы снижения температурных деформаций растворов до уровня температурных деформаций ячеистобетонного основания посредством регулирования их средней плотности;
- разработать принципы подбора вида и гранулометрического состава пористого заполнителя для растворов пониженной плотности;
- выявить закономерности формирования основных свойств штукатурных и кладочных растворов в зависимости от качественного и количественного состава модифицирующих полимерных добавок;
- исследовать влияние знакопеременных температурных воздействий и свойств поверхности ячеистобетонного основания на прочность сцепления растворов.

Научная новизна работы состоит в том, что:

- впервые разработана методика подбора оптимального гранулометрического состава пористого заполнителя из отходов ячеистого бетона с учетом коэффициента формы заполнителя, величины насыпной плотности заполнителя в зависимости от размера фракции, изменения ситовой характеристики пористого заполнителя в процессе приготовления раствора;
- установлена возможность эффективного снижения средней плотности растворов и их деформаций при изменении температур по

сравнению с цементно-песчаным раствором на кварцевом песке посредством введения пористого заполнителя из отходов производства и применения ячеистого бетона;

- получены адекватные математические модели, описывающие совместное влияние эфиров целлюлозы (ЭЦ), редиспергируемого полимерного порошка (РПП) и целлюлозного фиброволокна (ФВ) на свойства растворов на пористом заполнителе. Установлена следующая закономерность: РПП оказывает слабое влияние на коэффициент деформации раствора при температурном воздействии в положительном интервале температур, но повышает его при отрицательной температуре. Добавка ФВ снижает коэффициент деформаций раствора на всем интервале температур от -20 до +100 °С.
- показано, что знакопеременные температурные воздействия снижают остаточную прочность сцепления ($R_{сц}$) штукатурных слоев с ячеистобетонным основанием. Впервые установлено, что $R_{сц}$ плотных растворов снижается быстрее по сравнению с разработанными растворами пониженной плотности независимо от наличия полимерных компонентов в смеси;
- определено влияние свойств поверхности ячеистого бетона на прочность сцепления растворов. Показано, что наличие поверхностной пленки резко снижает, а предварительное грунтование основания повышает $R_{сц}$ и долговечность соединения «раствор – ячеистый бетон». Дана количественная оценка этим явлениям.

На защиту выносятся:

- методика определения оптимального гранулометрического состава пористого заполнителя из отходов ячеистого бетона с учетом особенностей его свойств;
- новые штукатурные и кладочные растворы пониженной плотности для ячеистого бетона и результаты исследования их свойств;

- результаты экспериментально-теоретических исследований влияния внешних факторов на изменение прочности сцепления облегченных растворов с ячеистобетонным основанием.

Практическая значимость результатов работы:

- определены качественные и количественные параметры пористого заполнителя из отходов ячеистого бетона, позволяющие получать растворы со средней плотностью в затвердевшем состоянии 800-1100 кг/м³.
- разработан состав штукатурной смеси пониженной плотности на основе заполнителя из отходов ячеистого бетона. По структуре, средней плотности и величине температурных деформаций раствор близок к ячеистобетонному основанию, что обеспечивает повышенную долговечность их совместной работы. Раствор имеет следующие основные характеристики: $R_{сц}=0,6$ МПа, $R_{сж}=3,52$ МПа, $R_{изг}=2,15$ МПа, марка по морозостойкости не менее F25. Получено положительное решение по заявке № 2006105946 «Сухая смесь для штукатурного раствора по ячеистому бетону», приоритет от 26.02.2006 г.;
- разработана рецептура кладочной смеси пониженной плотности с применением пористого заполнителя из отходов ячеистого бетона. Качественные показатели раствора оптимизированы для работы с ячеистобетонным основанием при соблюдении необходимых требований по прочности. Раствор имеет следующие основные характеристики: $R_{сц}=0,26$ МПа, $R_{сж}=6,58$ МПа, $R_{изг}=2,81$ МПа;
- проведена производственная проверка разработанной штукатурной смеси пониженной плотности на строительном объекте 17-этажного жилого дома. По результатам испытаний руководством строительной организации принято решение о налаживании производства предлагаемой сухой смеси для собственных нужд;
- рекомендованы способы подготовки поверхности ячеистого бетона для повышения прочности сцепления и эксплуатационной долговечности растворов.

Достоверность результатов исследований обеспечена использованием стандартных методов испытаний, применением поверенного испытательного оборудования и средств измерений. При постановке экспериментов применены методы математического планирования, обработка экспериментальных данных произведена с применением современной вычислительной техники и программного обеспечения. Количество контрольных образцов, используемых в экспериментах, обеспечивает достоверную вероятность 0,95 при погрешности измерений не более 10 %. Справедливость выводов подтверждается непротиворечивостью основным положениям строительного материаловедения, а также производственной проверкой результатов лабораторных исследований.

Апробация. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- Международной научно-практической конференции «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии» (г. Белгород, 2005 г.);
- IV Международной научно-практической конференции «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии» (г. Ростов-на-Дону, 2006 г.);
- XIII Международном семинаре Азиатско-Тихоокеанской академии материалов «Строительные и отделочные материалы. Стандарты XXI века» (г. Новосибирск, 2006 г.);
- в сборнике «Известия КубГТУ. Техника. Строительство. Транспорт» (г. Краснодар, 2006 г.), на расширенном заседании кафедры «Производства строительных изделий и конструкций» КубГТУ (г. Краснодар, 2003-2006 гг.).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 9 печатных работах (в том числе две – в журналах ВАК РФ, одна без соавторов – принята к печати). По результатам исследований получен патент РФ на изобретение и положительное решение по заявке на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, основных выводов, списка использованной литературы

и приложений. Работа изложена на 188 страницах машинописного текста, содержит 26 таблиц, 38 рисунков, библиографию из 161 наименования и 5 приложений на 34 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость работы, приведены сведения об апробации.

В первой главе отмечена необходимость применения в современной строительной отрасли эффективных с теплотехнической точки зрения строительных изделий и конструкций. В связи с этим, раскрыты преимущества ячеистого бетона как эффективного стенового материала. При этом оптимальным решением, при котором наиболее полно проявляются преимущества ячеистого бетона, являются однослойные ограждающие конструкции. Изучением, развитием технологии ячеистых бетонов и совершенствованием их свойств занимались отечественные и зарубежные исследователи: А.А. Ахундов, А.Т. Баранов, П.И. Боженков, Г.А. Бужевич, А.В. Волженский, В.П. Гензлер, Л.В. Моргун, В.А. Пинскер, Н.А. Попов, М. Л. Розенфельд, А.С. Семченков, Е.С. Силаенков, И.Б. Удачкин и многие другие.

Использование ячеистого бетона в строительстве требует применения специальных растворов. Разработкой составов и технологии отделочных и кладочных растворов для ячеистого бетона занимались: А.Ю. Калинин, Н.И. Левин, Л.Н. Магницкая, В.В. Макаричев, Е.С. Силаенков, И.Б. Удачкин. По мнению исследователей, для обеспечения долговечной совместной работы раствором необходимо придать прочностные и деформативные свойства, максимально приближенные к свойствам ячеистого бетона.

Рассмотрено влияние температурных деформаций на прочность сцепления и долговечность совместной работы штукатурных и кладочных

растворов с ячеистым бетоном. В отличие от влажностных или карбонизационных деформаций, которые в процессе эксплуатации носят затухающий характер, температурные деформации раствора и основания более разрушительны для прочности сцепления и долговечности их совместной работы. Обусловлено это тем, что температурные деформации сопровождают конструкцию в течение всего периода эксплуатации, при этом проявляются попеременные деформации сжатия и расширения, что приводит к ускоренному накоплению усталостных трещин в зоне контакта. Влиянию температурных деформаций на свойства строительных материалов и адгезионных систем посвящены работы Г.И. Горчакова, Л.П. Орендлихер, В.И. Логаниной, Л.В. Макаровой, Н.И. Макридина, В.М. Хрулева, Г.А. Рожковой, Л.И. Черняева.

Представлены общие требования к штукатурным и кладочным растворам и выделены специфические условия получения более долговечных растворов, работающих совместно с ячеистым бетоном:

- растворы по вещественному составу, структуре и средней плотности должны быть максимально приближены к ячеистобетонному основанию для обеспечения приблизительно равных коэффициентов линейных деформаций при изменении температуры окружающей среды;
- прочностные и упругие свойства отделочных растворов должны быть ниже или равны, а кладочных – равны или несколько выше аналогичных свойств ячеистого бетона;
- коэффициент паропроницаемости раствора должен быть выше или максимально приближен к паропроницаемости основания;
- штукатурный слой выполняет защитную функцию, для чего раствор должен обладать высокой адгезией к основанию, водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Подробный анализ свойств и способов получения используемых и потенциально пригодных составов для работы с ячеистым бетоном показал, что данные составы можно разделить на три категории: а) - растворы и сухие смеси, рекомендуемые для работы с ячеистым бетоном, но имеющие

$\rho_0 > 1500 \text{ кг/м}^3$; б) - облегченные растворы и сухие смеси с $\rho_0 \leq 1500 \text{ кг/м}^3$, но позиционируемые производителем в качестве теплоизоляционных, звукоизоляционных, saniрующих растворов и др.; в) - облегченные растворы и сухие смеси с $\rho_0 \leq 1500 \text{ кг/м}^3$, рекомендуемые для работы с ячеистым бетоном.

Освещены преимущества использования сухих строительных смесей (ССС) для получения различных растворов. Анализ рынка строительных материалов показывает стабильный рост объемов производства и применения СССР как в России, так и за рубежом. Это обуславливает необходимость разработки штукатурных и кладочных составов для ячеистого бетона в виде сухих строительных смесей. Изучением свойств сухих смесей и растворов на их основе, разработкой новых составов и технологий занимаются многие отечественные и зарубежные исследователи: К.А. Акмалаев, Р.Я. Ахтямов, В.И. Белан, В.В. Козлов, В.Ф. Коровяков, В.И. Калашников, Н.О. Копаница, П.И. Мешков, В.А. Мокин, Г.В. Несветаев, Е.В. Руссу, Е.А. Урецкая, Дильгер П., Харди Герольд, Цюрбригген Р. и др.

Во второй главе приведена характеристика исходных материалов, их основные физико-химические свойства. В качестве вяжущего применялся портландцемент М500 ДО Новороссийского завода «Пролетарий», в качестве плотного заполнителя использовали песок кубанский кварцевый, мелкий, с модулем крупности 1,21. Пористый заполнитель получали в лабораторной щековой дробилке из теплоизоляционного пенобетона $\rho_0 = 250\text{--}300 \text{ кг/м}^3$ и автоклавного газосиликата $\rho_0 = 500\text{--}550 \text{ кг/м}^3$. Применялся минеральный порошок – известняковая мука с содержанием CaCO_3 не менее 90% – в качестве наполнителя. Известь строительная гидратная по ГОСТ 9179-77 и вода по ГОСТ 23732-79. В качестве полимерных компонентов использовались:

- водоудерживающая добавка «Mecellose FMC 22501» на основе метилгидроксипропилцеллюлозы;

- редиспергируемый полимерный порошок «Mowilith Pulver LDM 2080 P» на основе сополимеров винилацетата, версатата и акрилата;
- дисперсное фиброволокно на основе целлюлозы «Technocel 1004-1».

Представлено основное испытательное оборудование и приборы. Прочность нормального сцепления растворов с ячеистобетонным основанием, которой уделено значительное внимание в работе, определялась с помощью прибора ПСО-5МГ4, способного создавать усилие отрыва до 5 кН.

Описана методика исследований, приведены методы планирования и обработки экспериментальных данных. Для обеспечения точности оценки параметров выхода применялись методы статистической обработки, в том числе проверка параметров выхода по критерию Стьюдента с определением доверительного интервала. Для оптимизации свойств растворов в зависимости от содержания полимерных компонентов был использован композиционный ротатбельный план второго порядка с варьированием каждого из факторов на трех уровнях плюс «звездные» точки. В качестве параметров выхода принимались технологические свойства растворных смесей, а также прочностные и деформативные свойства затвердевших растворов (всего семь параметров выхода). Оценку значимости коэффициентов уравнений регрессии проводили с помощью t-критерия Стьюдента, проверку адекватности уравнений с помощью F-критерия Фишера. На основе полученных адекватных математических моделей были построены графические зависимости параметров эксперимента от принятых факторов. Графические построения производились с помощью программных пакетов MS Excel, Statistica 6.0, Mathcad 11.0.

В третьей главе исследована возможность поризации плотной растворной смеси посредством воздухововлечения при перемешивании раствора, приготовленного из сухой смеси. Особенность пориза-

ции состоит в том, что для эффективного воздухововлечения в состав раствора вводится пенообразователь ПБ-2000, а само воздухововлечение производится обычным инструментом для приготовления раствора из сухой строительной смеси – дрелью с миксерной насадкой. В ходе экспериментов установлен оптимальный режим поризации: введение пенообразователя производится после двукратного перемешивания смеси, скорость вращения миксерной насадки $\omega=300$ об/мин, длительность воздухововлечения – 90-120 с при объеме замеса 6-8 л. При соблюдении данного режима средняя плотность получаемого раствора снижается с $\rho_0=1500-1600$ кг/м³ до $\rho_0=1240-1260$ кг/м³. Установлено, что данный способ снижения средней плотности рационально использовать при разработке кладочных составов для ячеистого бетона.

Исследован способ снижения средней плотности раствора посредством введения пористого заполнителя, получаемого дроблением отходов производства и применения ячеистого бетона.

Впервые установлена закономерность изменения насыпной плотности зерен различных фракций в зависимости от средней плотности исходного материала, размера и концентрации его пор (рисунок 1). На рисунке 1 кривая «а» - автоклавный газобетон $\rho_0=500-550$ кг/м³, размер пор 1-1,5 мм, концентрация пор 70-80 ед/см²; кривая «б» - неавтоклавный пенобетон $\rho_0=250-300$ кг/м³, размер пор 0,5-0,7 мм, концентрация пор 400-450 ед/см².

Практический результат использования данной закономерности состоит в получении эффективного пористого заполнителя из пенобетона $\rho_0=250-300$ кг/м³ с размером зерен до 5 мм (рисунок 2).

Исследованы условия подбора оптимального гранулометрического состава полученного пористого заполнителя для штукатурного раствора.

На основании уравнения Фуллера разработана математическая модель для определения оптимальной гранулометрии с учетом коэффициента формы заполнителя.

$$G_{np} = 100 \left[\sqrt{(1 - K_{\phi})^2} + (1 - \sqrt{(1 - K_{\phi})^2}) \sqrt{\frac{X}{D}} \right] \quad (1)$$

где $G_{\text{пр}}$ – проход, %, через сито размером X , мм;
 D – наибольшая крупность зерна в смеси, мм;
 $K_{\text{ф}}$ – коэффициент формы заполнителя.

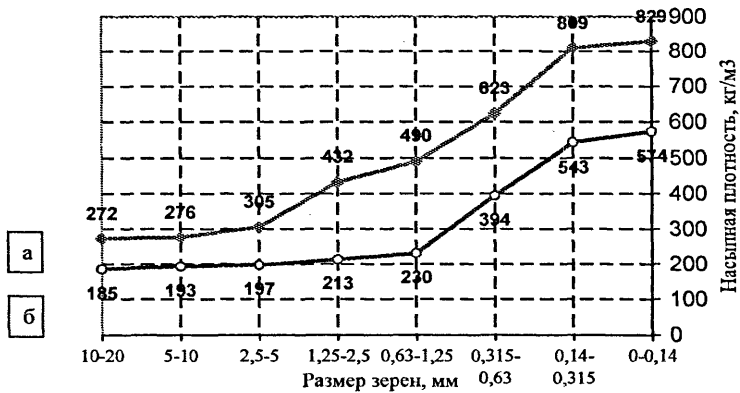


Рисунок 1 – График зависимости насыпной плотности от размера зерен заполнителя и свойств исходного ячеистого бетона

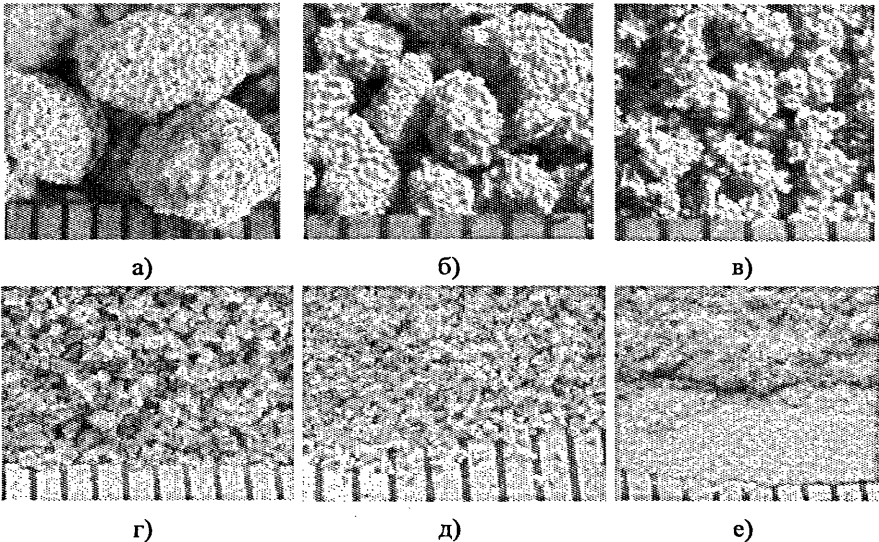


Рисунок 2 – Вид зерен заполнителя из пенобетона $\rho_0=250-300$ кг/м³: а) фр. 2,5-5 мм; б) фр. 1,25-2,5 мм; в) фр. 0,63-1,25 мм г) фр. 0,315-0,63 мм; д) фр. 0,14-0,315 мм; е) фр. 0-0,14 мм (х 5)

Коэффициент формы зерен определялся как отношение площади поверхности шара $\Phi_{\text{шар}}$ к площади поверхности зерна Φ , равного объема (2). Выявлена и обоснована необходимость введения в полученную модель поправочных коэффициентов $K=1\dots 2,9$ на изменяемость насыпной плотности заполнителя (3).

$$K_{\phi} = \frac{\Phi_{\text{шар}}}{\Phi_3}, \quad (2) \quad K_i = \frac{\rho_i^{\text{нас}}}{\rho_{2,5-5}^{\text{нас}}}, \quad (3)$$

Определен оптимальный гранулометрический состав пористого заполнителя для штукатурного раствора по ячеистому бетону, масс. %: фр. 2,5-5 мм – 17,2, фр. 1,25-2,5 мм – 14,6, фр. 0,63-1,25 мм – 11,2, фр. 0,315-0,63 мм – 13,7, фр. 0,14-0,315 мм – 15,2, фр. 0-0,14 мм – 28,1. На данном этапе получен базовый штукатурный раствор $\rho_0=845 \text{ кг/м}^3$, состоящий из цемента и пористого заполнителя полифракционного состава.

Исследован способ снижения средней плотности кладочного раствора посредством введения пористого заполнителя в состав плотного раствора. Установлена оптимальная крупность зерен и количество фракций пористого заполнителя: 3 фракции с крупностью зерен 0,63-5 мм. На основании трехфакторного статистического анализа по плану Шефе определено оптимальное соотношение фракций по массе: фр. 2,5-5 мм (x_1) – 34%, фр. 1,25-2,5 мм (x_2) – 33%, фр. 0,63-1,25 мм (x_3) – 33% исходя из необходимости обеспечения минимальной насыпной плотности (Y_1) заполнителя при условии сохранения высокого уровня подвижности (Y_2) раствора при $V/T=\text{const}$ (рисунок 3).

Установлена закономерность формирования средней плотности раствора и его прочности при сжатии от качественного и количественного состава пористого заполнителя. На данном этапе получен базовый кладочный раствор $\rho_0=1038 \text{ кг/м}^3$, состоящий из цемента, кварцевого песка и пористого заполнителя трехфракционного состава.

В четвертой главе исследовано влияние наполнителей и полимерных добавок-модификаторов на минеральную часть разработанных базовых

вых составов. Дальнейшая разработка штукатурного состава велась по выявлению оптимального содержания гидратной извести и молотого известняка.

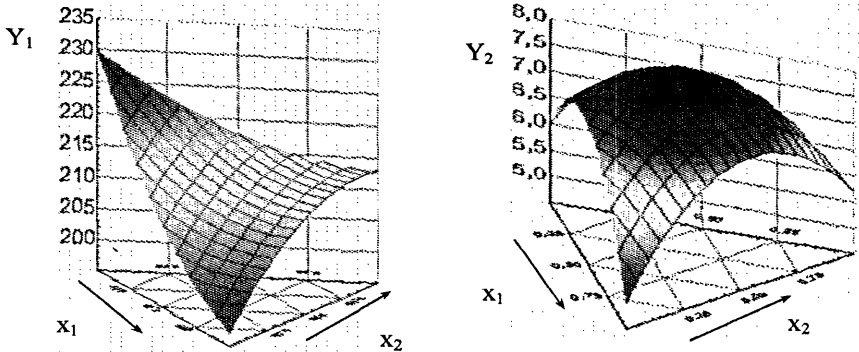


Рисунок 3 – Поверхности отклика функций: $Y_1 = \rho_{\text{нас}} = 197x_1 + 213x_2 + 230x_3 + 20x_1x_2 - 22x_1x_3 - 14x_2x_3$ и $Y_2 = \Pi_k = 5x_1 + 5,7x_2 + 6x_3 + 6,6x_1x_2 - 6,8x_1x_3 - 6,6x_2x_3$.

В ходе экспериментальных исследований были установлены оптимальные содержания извести и микрокальцита – по 10% от массы цемента. Введение в раствор наполнителей в указанном количестве позволило: снизить В/Т на 6% (до 0,47) при постоянной подвижности $\Pi_k = 6$ см; повысить водоудерживающую способность раствора с 89,32 до 95,12%; повысить прочность при сжатии на 20% (до 3,21 МПа) и прочность при изгибе на 28% (до 1,39 МПа).

Посредством трехфакторного эксперимента, где в качестве факторов принимались: x_1 – содержание эфира целлюлозы (ЭЦ) «Mecellose FMC 22501», x_2 – содержание редиспергируемого полимерного порошка (РПП) «Mowilith Pulver LDM 2080 P» и x_3 – содержание целлюлозного фиброволокна (ФВ) «Technocel 1004-1», было изучено влияние полимерных компонентов на следующие свойства растворной смеси и готового раствора: Y_1 – В/Т при $\Pi_k = \text{const} = 6-7$ см; Y_2 – водоудерживающая способность растворной смеси, %; Y_3 – предел прочности раствора при сжатии, МПа; Y_4 – предел прочности раствора при изгибе, МПа; Y_5 –

прочность сцепления с ячеистобетонным основанием, МПа; Y_6 – деформации раствора при изменении температуры окружающей среды от плюс 100 до минус 20 °С, мм/м; Y_7 – влажностные деформации при изменении влажности от 35 до 5%, мм/м. Получены адекватные математические модели, описывающие закономерности формирования указанных свойств от количественного содержания полимерных компонентов:

$$Y_1 = 0,686 - 0,005x_2 + 0,033x_3 + 0,009x_1^2 + 0,019x_2^2;$$

$$Y_2 = 98,87 + 0,59x_1 - 0,2x_3 - 0,31x_1^2 + 0,36x_2^2 + 0,45x_3^2;$$

$$Y_3 = 3,57 + 0,237x_1 + 0,027x_2 + 0,036x_1^2 - 0,035x_2^2 - 0,125x_3^2;$$

$$Y_4 = 1,788 + 0,096x_1 + 0,262x_2 + 0,164x_3 - 0,031x_1x_2 + 0,111x_2x_3 + 0,098x_1^2 + 0,038x_2^2 + 0,096x_3^2;$$

$$Y_5 = 0,481 + 0,065x_1 + 0,107x_2 + 0,039x_3 + 0,071x_1x_2 + 0,031x_2x_3 - 0,07x_1^2 - 0,051x_3^2;$$

$$Y_6 = 1,338 - 0,042x_1 + 0,029x_2 - 0,092x_3 - 0,062x_2^2;$$

$$Y_7 = 2,631 + 0,112x_1 + 0,196x_2 - 0,32x_3 - 0,031x_1x_2 - 0,009x_1x_3 + 0,211x_2x_3 + 0,071x_1^2 + 0,169x_2^2 + 0,112x_3^2.$$

В результате комплексного анализа полученных данных были установлены оптимальные содержания полимерных компонентов для штукатурного раствора: ЭЦ – 0,37%, РПП – 4,9%, ФВ – 0,82% от массы сухой смеси.

Впервые установлено влияние качественного и количественного состава указанных полимерных компонентов на деформации раствора пониженной плотности при изменении температуры. В отличие от обычных растворов зависимость деформаций раствора с полимерными добавками от изменения температуры имеет более выраженный нелинейный характер (рисунок 4).

Добавка РПП оказывает слабое влияние на деформации при температурах выше нуля, но значительно повышает их при отрицательных температурах. Это, очевидно, связано со стеклованием полимера, которое для применяемого РПП происходит при температуре -4°С. Добавка ФВ оказывает эффективное понижающее действие на деформации во всем исследуемом диапазоне температур.

дуемом интервале температур. В результате совместного влияния полимерных компонентов средние температурные деформации в положительном интервале температур снижаются по сравнению с бездобавочным раствором, в отрицательном интервале — повышаются.

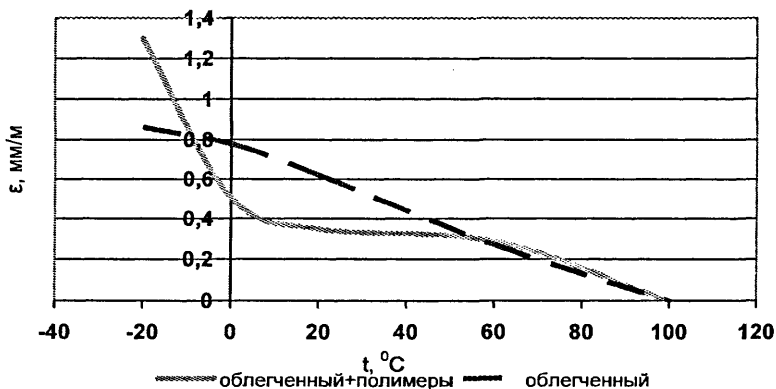


Рисунок 4— Линейная деформация бездобавочных и полимерцементных растворов пониженной плотности при снижении температуры от плюс 100 °С до минус 20 °С.

Оптимизация базового кладочного состава проводилась по содержанию ЭЦ и РПП. Исследовано влияние указанных полимерных добавок на основные свойства затвердевших растворных смесей и кладочных растворов. По результатам исследований выявлено оптимальное содержание добавок: ЭЦ — 0,1%, РПП — 1% от массы сухой смеси.

Составы разработанных сухих смесей приведены в таблице 1.

Свойства разработанных растворов приведены в таблице 2. Как следует из данных таблицы 2, растворы имеют пониженную среднюю плотность, что способствует снижению деформаций при изменении температуры. Прочностные характеристики растворов соответствуют требованиям СНиП 3.04.01-87 «Изоляционные и отделочные покрытия» и «Рекомендациям по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов».

Таблица 1 – Составы сухих смесей для работы с ячеистобетонными изделиями

Наименование компонента	Массовая доля	
	Отделочный	Кладочный
Цемент М500 ДО	0,349	0,565
Пористый песок полифракционного состава	0,524	-
Пористый песок трехфракционного состава	-	0,283
Кварцевый песок, $M_k=1,21$	-	0,141
Гидратная известь	0,035	-
Молотый известняк	0,035	-
Эфир целлюлозы «Mecellose FMC 22501»	0,0034	0,001
Редиспергируемый порошок «Mowilith Pulver LDM 2080 P»	0,046	0,01
Целлюлозное волокно «Technocel 1004-1»	0,0077	-

Таблица 2 – Прочностные и деформативные свойства штукатурного и кладочного растворов

Наименование показателя	Значение	
	Штукатурный	Кладочный
Растворная смесь		
В/Т при $\Pi_k=6-7$ см	0,69-0,71	0,50-0,52
Водоудерживающая способность, %	99	96
Затвердевший раствор		
Средняя плотность, кг/м^3	830	1025
Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	3,52	6,58
Прочность при изгибе $R_{изг}$, МПа	2,15	2,81
Отношение $R_{изг}/R_{сж}$	0,61	0,43
Прочность сцепления с ячеистобетонным основанием (газобетон $\rho_0=900 \text{ кг/м}^3$) $R_{сц}$, МПа	0,6	0,26
Влажностные деформации при изменении влажности от 35 до 5%, мм/м	2,45	2,15
Коэффициент деформаций при изменении температуры окружающей среды в диапазоне $0...+100 \text{ }^\circ\text{C}$, $^\circ\text{C}^{-1}$	$0,61 \cdot 10^{-5}$	$0,84 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент деформаций при изменении температуры окружающей среды в диапазоне $-20...+100 \text{ }^\circ\text{C}$, $^\circ\text{C}^{-1}$	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$

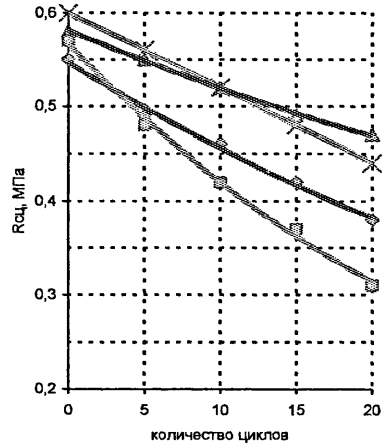
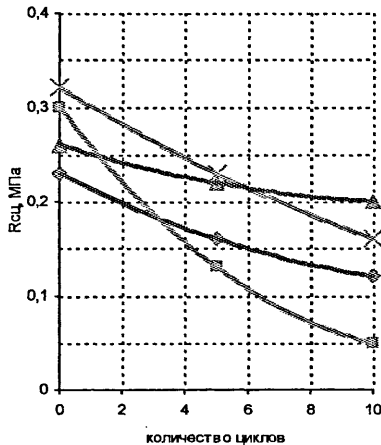
Повышенное отношение прочности при изгибе к прочности при сжатии свидетельствует о снижении склонности к трещинообразованию.

В пятой главе исследовано влияние температурных воздействий на прочность сцепления штукатурных растворов с ячеистобетонным основанием. Для проведения экспериментов подготавливались образцы ячеистобетонного основания размером 350x100x50 мм, все грани которых имели поверхностную пористость после распиловки. Образцы изготавливались из двух типов ячеистого бетона: газобетона нормального твердения, $\rho_0=850-900 \text{ кг/м}^3$, $R_{сж}=5-5,2 \text{ МПа}$ и пенобетона нормального твердения, $\rho_0=620-650 \text{ кг/м}^3$, $R_{сж}=2,2-2,5 \text{ МПа}$. На полученные ячеистобетонные поверхности с одной стороны наносился слой штукатурного раствора толщиной 15 мм. На часть образцов ячеистого бетона наносился цементно-песчаный штукатурный раствор, на другую часть – штукатурный раствор пониженной плотности. Кроме того, штукатурные растворы делились на растворы без полимерных добавок и растворы с полимерными компонентами. При этом количество полимерных добавок при назначении для плотного раствора пересчитывалось с учетом разности в насыпной плотности сухих смесей.

Растворы твердели в нормальных условиях 28 суток, после чего подвергались циклическим температурным воздействиям: подъем температуры до плюс 100 °С и снижение до минус 20 °С. Длительность одного цикла – 48 часов. После каждого трех-пяти циклов температурных воздействий проверялась остаточная прочность сцепления штукатурных слоев с ячеистобетонным основанием. По результатам испытаний построены кривые остаточной прочности сцепления от продолжительности температурных воздействий для двух типов ячеистобетонного основания (рисунок 5).

Установлено, что при колебаниях температуры в диапазоне от +100 до -20 °С прочность сцепления растворов пониженной плотности без полимерных добавок снижается в 2,2 раза медленнее, чем прочность сцепления цементно-песчаных растворов, причем прогнозируемое полное отслоение происходит в первом случае через 38-40 циклов, во втором – через 17-18 циклов; прочность сцепления полимерцементных растворов пони-

женной плотности снижается 1,53 раза медленнее, чем у плотных полимерцементных растворов, причем прогнозируемое полное отслоение происходит в первом случае через 62-65 циклов, во втором – через 40-42 цикла.



без полимерных добавок

с полимерными добавками

Рисунок 5 – Влияние циклических температурных воздействий на остаточную прочность сцепления растворов: ▲ – облегченного с пенобетоном, × – плотного с пенобетоном, ◆ – облегченного с газобетоном, ■ – плотного с газобетоном

Исследовано влияние поверхностной пленки на ячеистобетонных изделиях, образующихся в зоне непосредственного контакта ячеистобетонной массы с поверхностью формы при изготовлении, на прочность сцепления с растворами. Впервые установлено, что при отсутствии поверхностной пленки прочность сцепления для растворов без добавок выше на 17%, а для растворов с добавкой 0,37% эфира целлюлозы – на 31%, чем прочность сцепления с пенобетоном с поверхностной пленкой.

Вид образцов после испытания на отрыв от пенобетона, полученного в индивидуальных формах, приведен на рисунке 6. На рисунке четко выделяется цементная поверхностная пленка, частично оставшаяся на образце после отрыва штукатурного слоя.

Показано, что наличие поверхностной пленки при знакопеременных температурных воздействиях в течение пяти циклов снижает прочность сцепления растворов с пенобетоном в 3 раза для бездобавочных растворов и в 2,06 раза для растворов с эфиром целлюлозы, тогда как при ее отсутствии величина снижения прочности составила 1,75 и 1,58 раза соответственно.

Выявлена степень проникновения отделочного раствора в поверхностные поры основания при отсутствии поверхностной пленки. Показано, что при ручном нанесении раствора на пористую поверхность ячеистого бетона, поверхностные поры, как правило, заполняются частично. Однако, даже частичное заполнение пор оказывает положительное влияние на устойчивость затвердевшего раствора при сдвиге и нормальном отрыве от основания.

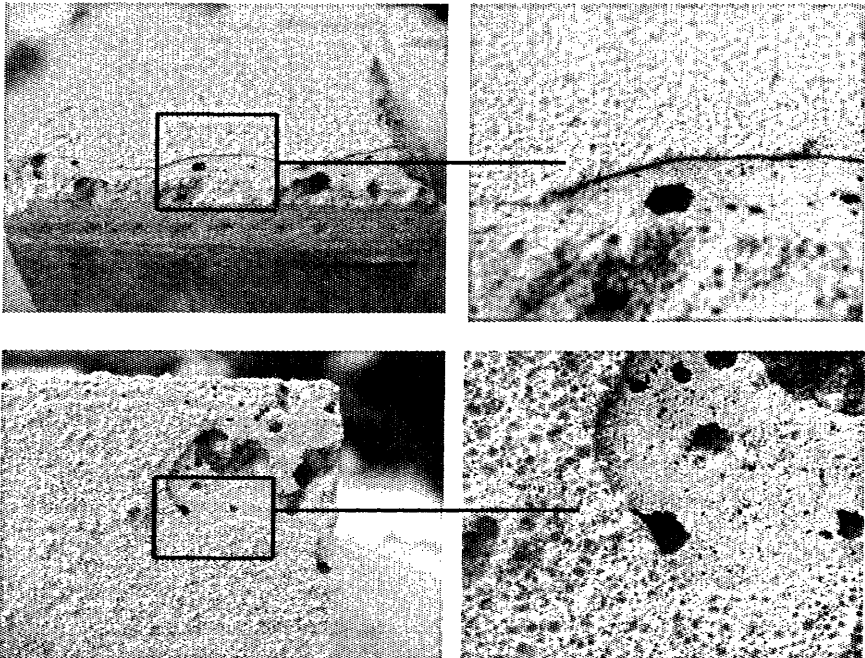


Рисунок 6 – Вид поверхностной цементной пленки на образцах штукатурных растворов после отрыва от пенобетонного основания

Исследовано влияние предварительного грунтования поверхности ячеистого бетона укрепляющей акриловой грунтовкой на прочность сцепления с растворами. Грунтовка наносилась в виде водных растворов 33, 50 и 100%-ой концентрации. Наносились растворы пониженной плотности двух видов: состоящие только из минеральных компонентов и имеющие в своем составе добавку РПП в количестве 4,9%. Результаты эксперимента приведены на рисунке 7.

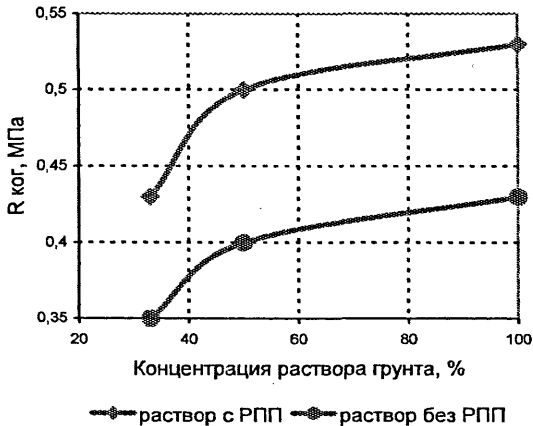


Рисунок 7 – Зависимость когезионной прочности штукатурных растворов от концентрации грунтовочного покрытия

Установлено, что предварительное грунтование ячеистого бетона повышает прочность сцепления в контактной зоне. Для всех образцов плоскость отрыва прошла по телу штукатурного раствора. Это говорит о высокой степени монолитности соединения. Показано, что предварительное грунтование поверхности положительно сказывается на прочности сцепления как полимерсодержащих, так и минеральных растворов. Повышение концентрации водного раствора грунтовки «Тифгрунт-АК» с 33 до 100% обеспечивает прирост прочности сцепления за счет увеличения когезионной прочности для бездобавочных растворов и для растворов с добавкой 4,9% редиспергируемого порошка в среднем на 23%.

Проведенные технико-экономические расчеты показывают эффективность применения по ячеистому бетону разработанного штукатурного

состава пониженной плотности взамен применяемых сухих смесей на плотном заполнителе. Затраты на нанесение и эксплуатацию плотной штукатурки в течение 12 лет с учетом инфляции на 26% выше затрат на нанесение и эксплуатацию раствора пониженной плотности.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Впервые разработана методика подбора оптимального гранулометрического состава пористого заполнителя из отходов ячеистого бетона с учетом коэффициента формы заполнителя, величины насыпной плотности заполнителя в зависимости от размера фракции, изменения ситовой характеристики пористого заполнителя в процессе приготовления раствора.

2. Установлена возможность эффективного снижения средней плотности растворов и их деформаций при изменении температур (на 53 и 34% соответственно по сравнению с цементно-песчаными растворами на кварцевом песке) посредством введения пористого заполнителя из отходов производства и применения ячеистого бетона.

3. Выявлено, что комплексное введение полимерных добавок эфира целлюлозы (ЭЦ), полимерного редиспергируемого порошка (РПП) и целлюлозного фиброволокна (ФВ) оптимального соотношения положительно влияет на физико-механические и эксплуатационные свойства растворов пониженной плотности и позволяет обеспечить водоудерживающую способность (ВУС) 99%, повысить $R_{сж}$ – на 24%, $R_{изг}$ – на 49%, $R_{сц}$ – на 88% для штукатурного раствора и обеспечить ВУС –96%, повысить $R_{сж}$ – на 12%, $R_{изг}$ – на 28%, $R_{сц}$ – на 80% для кладочного раствора.

4. Впервые установлена закономерность влияния исследуемых полимерных компонентов (ЭЦ, РПП и ФВ) на деформации растворов при изменении температуры. Установлено, что РПП оказывает слабое влияние на коэффициент деформаций раствора в положительном интервале температур, но повышает его при температуре ниже 0 °С, так что коэффициент деформаций в интервале температур от -20 до +100 °С на 47% выше по срав-

нению с бездобавочным раствором. Добавка ФВ снижает коэффициент деформаций раствора на всем интервале температур от -20 до +100 °С, частично компенсируя влияние РПП при отрицательных температурах.

5. Определено влияние знакопеременных температурных воздействий на остаточную прочность сцепления отделочных слоев с ячеистобетонным основанием. Впервые установлена следующая закономерность: $R_{сц}$ плотных растворов снижается при температурных воздействиях быстрее, чем $R_{сц}$ растворов пониженной плотности независимо от наличия полимерных компонентов в смеси. Наличие полимерных добавок оказывает влияние на скорость падения прочности сцепления: для бездобавочных составов $R_{сц}$ облегченных растворов снижается в 2,2 раза медленнее, для полимерцементных растворов – в 1,53 раза медленнее, чем $R_{сц}$ плотных.

6. Впервые установлено, что наличие поверхностной пленки на ячеистобетонном основании снижает $R_{сц}$ растворов пониженной плотности в среднем на 19%, уменьшает долговечность сцепления при воздействии температур в 1,56 раза. Удаление поверхностной пленки и обработка поверхности акриловым грунтовочным составом повышает $R_{сц}$ растворов на 37-50% в зависимости от концентрации его водного раствора.

7. По результатам исследований разработан состав штукатурной смеси пониженной плотности на основе заполнителя из отходов ячеистого бетона. По структуре, средней плотности и величине температурных деформаций раствор близок к ячеистобетонному основанию, что обеспечивает повышенную долговечность их совместной работы. Раствор имеет следующие основные характеристики: $R_{сц}=0,6$ МПа, $R_{сж}=3,52$ МПа, $R_{изг}=2,15$ МПа, марка по морозостойкости не менее F25.

8. Разработана рецептура кладочной смеси пониженной плотности с применением пористого заполнителя из отходов ячеистого бетона. Качественные показатели раствора оптимизированы для работы с ячеистобетонным основанием при соблюдении необходимых требований по прочности. Раствор имеет следующие основные характеристики: $R_{сц}=0,26$ МПа, $R_{сж}=6,58$ МПа, $R_{изг}=2,81$ МПа.

9. По результатам производственной проверки эффективности разработанного отделочного состава на отделке ячеистобетонного фасада 17-ти этажного жилого дома, г. Краснодар, руководством строительной организации ООО «Стройтехносервис-Юг» принято решение об организации производства сухой отделочной смеси пониженной плотности для собственных нужд.

10. Экономический эффект от применения разработанного штукатурного состава за счет увеличения межремонтного периода за 12 лет эксплуатации составляет 35 470 рублей на 100 м² (в ценах 2006 г. с учетом инфляции).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Удодов С.А., Черных В.Ф., Сирота М.В. Разработка штукатурных составов для пенобетонных изделий // Вестник БГТУ: научно-теоретический журнал; материалы Международной научно-практической конференции «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии». – Белгород, 2005 г. – с. 234-237. Авт. – 3 с.
2. Удодов С.А., Черных В.Ф., Дятченко Е.Ю. Основы разработки штукатурного состава для пенобетона // Экология и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении: международный сборник научных трудов. – Новосибирск, 2005 г. – с. 134-138. Авт. – 4 с.
3. Удодов С.А., Черных В.Ф. Особенности свойств сухих смесей с применением пористых заполнителей // Строительные материалы. – М.: 2006 г., №3. – с. 15-17. Авт. – 2 с.
4. Удодов С.А., Черных В.Ф. Штукатурные составы для ячеистых бетонов // Строительные материалы. – М.: 2006 г., №6. – с. 31-33. Авт. – 2 с.

5. Удодов С.А., Черных В.Ф., Дятченко Е.Ю. Штукатурные составы пониженной плотности для пенобетонных изделий // Популярное бетоноведение. – С.-Пб.: 2006 г., №2. – с. 80-84. Авт. – 4 с.
6. Удодов С.А., Черных В.Ф., Давтян Д.Д. Влияние свойств поверхности пенобетонных изделий на прочностные свойства отделочных составов // Популярное бетоноведение. – С.-Пб.: 2006 г., №4. – с. 54-58. Авт. – 4 с.
7. Удодов С.А., Черных В.Ф. Применение пористого заполнителя в отделочных составах для ячеистого бетона // материалы XIII Международного семинара Азиатско-Тихоокеанской академии материалов «Строительные и отделочные материалы. Стандарты XXI века», том 1 – Новосибирск, 2006 г. – с. 171-177. Авт. – 6 с.
8. Удодов С.А., Черных В.Ф., Давыдов А.В. Вопросы повышения прочности сцепления отделочных слоев с ячеистобетонным основанием // материалы IV Международной научно-практической конференции «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии», том 1 – Ростов-на-Дону, 2006. Ростов н/Д: изд-во Рост. гос. строит. ун-та, 2006 г. – с. 483-491. Авт. – 8 с.
9. Удодов С.А. Роль пористого заполнителя и полимерных добавок в штукатурных составах для ячеистобетонного основания // Известия КубГТУ. Техника. Строительство. Транспорт. – Краснодар, 2006 г. (принято к печати). – Авт. – 8 с.
10. Патент 2246461 РФ. Заявка 2003120342/03. Комплексная добавка / Маштаков А.Ф., Черных В.Ф., Буланы Р.В., Удодов С.А. (Российская Федерация), 2003.
11. Положительное решение на изобретение по заявке №2006105946. Сухая смесь для штукатурного раствора по ячеистому бетону / Черных В.Ф., Удодов С.А., Дуров А.Е. (Российская Федерация), 2006. (приоритет по заявке 26.02.2006 г.).

Подписано в печать 18.11.2006г. Гарнитура Таймс.
Печать ризография. Бумага офсетная.
Заказ № 1187 Тираж 100 экз.
Усл. п. л. – 1,0.

Отпечатано в типографии ООО «Копи-Принт».
Краснодар. ул. Красная, 176, оф.3. т/ф 279-2-279.
ТК «Центр города»