

2001-250

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КУЛЬТУРЫ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи  
АБДЫКАЛЫКОВ АКЫМБЕК

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ  
ЭФФЕКТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ОСНОВЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ  
УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой  
степени доктора технических наук

БИШКЕК-2000



Работа выполнена в Кыргызском Государственном университете строительства, транспорта и архитектуры.

Научный консультант – доктор технических наук,  
профессор Тентиев Ж.Т.

Официальные оппоненты: – Заслуженный деятель науки и техники  
РФ, доктор технических наук,  
профессор Хрулев В.М.

– Заслуженный деятель науки и техники  
Республики Узбекистан,  
доктор технических наук,  
профессор Касимов И.К.

– доктор химических наук,  
профессор Шаршеналиева З.Ш.

Ведущая организация – ЗАО «НИИСтромпроект»  
Республики Казахстан

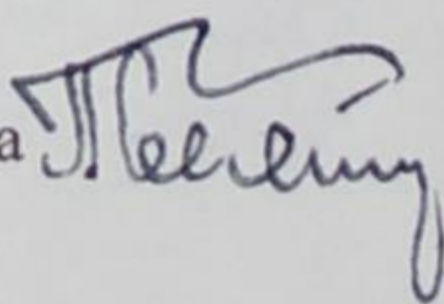
Защита состоится 2 февраля 2001г. в 14.00 часов на заседании  
диссертационного совета Д 05.00.103 Кыргызского Государственного  
университета строительства, транспорта и архитектуры.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского  
Государственного университета строительства, транспорта и архитектуры  
по адресу: 720023, Бишкек, ул. Малдыбаева 34-б.

Автореферат разослан “30” декабря 2000г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Белинская Т.И.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность проблемы.* От того, на каком уровне ведется строительство, зависит будущее страны, ее экономики, науки, культуры, престижа и авторитета в мировом сообществе. Строительство является одной из самых материалоемких отраслей промышленности, поэтому решение проблемы создания новых эффективных, экологически чистых строительных материалов с заданными свойствами становится (актуальным) решающим фактором на этапе выхода из социального и технологического кризиса экономики Кыргызской Республики.

Развитие теоретических основ создания эффективных композиционных материалов на основе наполнителей различной удельной поверхности является одной из приоритетных задач современного материаловедения.

В республике имеются соответствующие условия для получения эффективных строительных материалов, в том числе и на основе полимерсодержащих наполненных композитов, обеспечивающих их высокие эксплуатационные свойства.

В связи с этим углубление знаний о методах оптимизации их состава с требуемыми реологическими характеристиками системы «сырье, смесь-технология-свойство», приобретает особое значение.

В настоящее время в научно-технической литературе отсутствуют сведения о взаимном влиянии рецептурных, технологических и эксплуатационных факторов: вид, удельная поверхность и объемное содержание наполнителя; расход связующих; предельное напряжение сдвига смесей; режимы перемешивания, условия твердения и др., обеспечение комплекса свойств, надежность, долговечность.

Зная природу исходных сырьевых материалов, физико-химические основы получения смеси и технологии ее переработки, как нам видится, можно прогнозировать надежную работу конструкций в экстремальных условиях,



применяя методы экспериментально-статистического моделирования с обработкой результатов на ЭВМ. Такая обработка экспериментальных исследований на ЭВМ дает наиболее точные и достоверные результаты в оценке надежности конструкционных материалов без проведения многочисленных экспериментов.

Диссертационная работа выполнена в рамках общесоюзной программы 0.55.16 Ц (этап М 1б - создание новых видов бетонов с модификаторами) и координационного плана АН СССР на 1986-1990 годы (раздел 2.16.2.3 - моделирование оптимальных полимерных и силикатных материалов), Государственной комплексной программы развития науки, техники и новых технологий в Кыргызской Республике до 2005 г. (раздел "Строительство и стройиндустрия"), по плану научно-исследовательской тематики кафедры "Технология, экология производства строительных материалов и изделий" Кыргызского Государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.

*Целью диссертационной работы* явилось развитие теоретических и практических основ получения эффективных композиционных материалов с требуемым комплексом технологических и эксплуатационных свойств.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач, в число которого вошли:

- установить влияние вида, количества и дисперсности наполнителя на физико-механические свойства цементных композиций с целью оценки фактора снижения расхода вяжущего в различных условиях твердения;
- снизить дефектность цементных композиций применением наполнителей оптимальной дисперсности и повысить стойкость в условиях попеременного увлажнения и высушивания;
- установить оптимальную гранулометрию наполнителя по блоку математических моделей, обеспечивающих заданные параметры качества;
- выявить на основе комплекса моделей и проанализировать совместное



влияние зернового состава разных видов наполнителей, степени наполнения и скорости деформации полимерных связующих на их реологические показатели и структурообразование;

- проанализировать влияние состава на основные механические свойства полимерных композиционных материалов при изменении расхода связующего;

- провести вероятностно-статистическое моделирование прочностных показателей композитов и количественно оценить на них расхода связующих за счет оптимизации зернового состава наполнителей;

- разработать рекомендации по экономии полимерной смолы за счет оптимизации зернового состава наполнителей при обеспечении комплекса технологических и механических свойств связующих (композиций);

- разработать технические документы для массового внедрения научно-практических результатов в производство. Оценить экономическую эффективность применения композиционных материалов с наполнителями оптимальной дисперсности.

**Научная новизна работы.** В исследовании данной проблемы автором выносятся следующие новые положения.

1. Развита представления о взаимном влиянии рецептурных, технологических и эксплуатационных факторов в создании новых композиционных материалов на их физико-технические и эксплуатационные свойства.

2. Сформированы критерии оценки надежности и долговечности, вытекающие из результатов экспериментально-статистического моделирования системы "сырье, смесь-технология-свойство", выполненных на ЭВМ.

3. Предложен метод оптимизации составов композиционных материалов на основе различных вяжущих с учетом установленных величин удельной поверхности, количества и вида минеральных наполнителей, структурообразующей добавки и условий твердения.

4. Выявлена закономерность влияния зернового состава наполнителя на



характер образования поверхностных трещин и стойкость цементных композитов при попеременном увлажнении и высушивании и сформулированы научно-теоретические положения механизма их устранения.

5. Установлена качественная инвариантность основных закономерностей влияния многофракционных наполнителей на структурно-реологические характеристики и структурообразование наполненных композиционных материалов. Показано, что при постоянстве удельной поверхности и концентрации наполнителя в композите эффективная вязкость изменяется в 1,5-4 раза только за счет оптимизации зернового состава. Выявлены пути уменьшения полимероемкости композиций без ухудшения его технологических и эксплуатационных показателей.

6. Методами физико-химического анализа установлена эффективность использования в композиционных материалах волластонитового наполнителя с удельной поверхностью 50-150 м<sup>2</sup>/кг, выражающаяся в повышении физико-механических свойств и долговечности композитов в экстремальных условиях эксплуатации. Обнаружена адгезионно-класчтерная структура в композиционных материалах с волластонитовыми наполнителями.

7. Показано, что физико-механические показатели композитов подчиняются сложным нелинейным законам, имеющим асимметричный характер, пренебрежение которыми может привести к нарушениям обеспеченности прочностных показателей или перерасходу связующих.

8. Построены математические модели, связывающие рецептурно-технологические и эксплуатационные факторы со средними показателями физико-механических свойств и вероятностными показателями качества, а именно минимальную прочность при заданном риске и вероятность разрушения композита при заданной нагрузке.

9. Установлена область относительно безопасной работы по долговечности конструкционного материала в зависимости от условий эксплуатации и допустимого риска отказа сооружения.



10. Подтверждена гипотеза о целесообразности управления качеством продукции как на стадии изготовления, так и на стадии эксплуатации не по средним показателям комплекса свойств, а по показателям, учитывающим уровень риска снижения качества композиционных материалов ниже нормативного, что существенно повысит надежность эксплуатации изделий в экстремальных условиях.

*Достоверность результатов работы* обоснована применением экспериментально-статистических и вероятностных методов математического моделирования многофакторного эксперимента и обработкой результатов на ЭВМ; использованием комплекса современных стандартных методов исследований, допущений физико-химической механики дисперсных систем и композиционных материалов; систематическими сопоставлениями полученных результатов решения конкретных задач с ранее известными решениями аналогичных задач, а также удовлетворительным сопоставлением полученных результатов по предлагаемым теоретическим положениям с опытными данными экспериментальных исследований других авторов.

*Значение для науки и практики.* Разработаны составы эффективных композиционных материалов, обеспечивающие заданные свойства и надежность конструкционных композитов в различных условиях эксплуатации.

Разработаны технологические нормы процесса получения композиционных материалов с требуемыми физико-техническими характеристиками, позволяющие получать конкурентоспособную и импортозамещающую продукцию. Установлена возможность снижения расхода связующих и энергозатрат до 20% при сохранении заданных параметров качества и долговечности.

Разработаны рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для оптимизации наполнителя в полимерных композиционных материалах.

Результаты работы внедрены на объектах Минтранспорта и



коммуникации КР - при реабилитации автомобильной дороги "Бишкек-Ош" и реконструкции аэропорта "Манас"; АО "Факел"; ПО "Станкостроительный завод В.И.Ленина"; "Бишкектеплосеть", «КыргызНИИПСтроительства», «Государственный центр стандартизации, сертификации и лицензирования в строительстве», что обеспечило экономический эффект в размере более 2,0 млн. сом и использованы в учебном процессе в качестве учебного пособия при подготовке инженеров, магистров и аспирантов.

*Положения, выдвигаемые на защиту.* Автор защищает основные теоретические положения о взаимном влиянии рецептурных, технологических и эксплуатационных факторов в создании эффективных композиционных материалов на основе наполнителей различной удельной поверхности.

Методы оптимизации составов и структуры композиционных материалов с учетом установленных величин удельной поверхности, количества и вида минеральных наполнителей, структурообразующих добавок и условий твердения.

Критерии оценки надежности и долговечности в связи с результатами моделирования на ЭВМ системы «смесь-технология-свойство».

Новые экспериментально установленные закономерности изменения «общей» длины поверхностных трещин в зависимости от размера частиц волластонитовой добавки в связи со стойкостью композиционных материалов в условиях попеременного увлажнения и высушивания.

Результаты исследований, подтверждающие качественную инвариантность основных закономерностей влияния многофракционных наполнителей на структурно-реологические характеристики и структурообразование композиционных материалов.

Закономерности изменения реологических свойств композитов от степени наполнения и удельной поверхности наполнителей и скорости деформации смеси.

Полученные экспериментально-статистические модели свойств



композиционных материалов, которые отражают степень и характер влияния рецептурно-технологических факторов, обеспечивающих заданные параметры качества.

Теоретические положения о характере изменений вероятностных показателей прочностных свойств и долговечности композиционных материалов от структуры, технологии производства и параметров внешней среды.

Гипотеза управления качеством как на стадии изготовления, так и на стадии эксплуатации не по средним показателям комплекса свойств, а по показателям, учитывающим уровень риска снижения качества ниже нормативного.

Основные принципы совершенствования технологии производства композиционных материалов на основе наполнителей различной удельной поверхности.

*Апробация работы.* Основные положения диссертации докладывались на международных, республиканских и региональных конференциях по композиционным материалам (Варна-1985; София-1991; Бишкек - 1991, 1994, 1995, 1997, 1998, 1999, 2000; Брянск-Ташкент-1996, 1997, 1998; Алма-Ата - 1996), по полимерным композиционным строительным материалам (Киев-1998, 1989, 1990; Казань-1995), по физико-химической механике дисперсных систем и материалов (Киев-1990), Международной конференции "Реставрация; реконструкция; урбоэкология" (Одесса-1998), по применению достижений физико-математических наук в материаловедении и технологии (Киев-1996, Одесса-1991, 1996), Международном семинаре "Оптимизации в материаловедении" (Одесса-1998, 1999, 2000). Опубликовано 50 научных трудов, из них 1 монография, 2 брошюры, 2 учебных пособия для студентов, магистров и аспирантов строительных специальностей.

Диссертационная работа состоит из введения и семи глав, выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Текстовая часть изложена



на 265 страницах и приложений на 20 страницах. В работе содержится 29 таблиц, 57 рисунков, список литературы насчитывает 235 наименований, в том числе 20 - на иностранных языках.

Автор выражает глубокую благодарность за оказанное внимание и помощь в работе над диссертацией д.т.н., профессорам: В.А. Вознесенскому, В.М. Курдюмовой, В.И. Соловьеву, Ж.Т. Тентиеву, К.С. Шинтемирову.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Строительные конструкции и сооружения предприятий металлургической, химической и нефтехимической промышленности, а также дорожные и аэродромные покрытия, работающие в сложных условиях эксплуатации – при одновременном воздействии механических нагрузок и агрессивных сред, что в ряде случаев приводит к такому изменению свойств материала, когда сооружение переходит в аварийное состояние, требующее капитального ремонта или полной замены конструкций. Анализ научно-технической литературы показывает, что для обеспечения комплекса эксплуатационных свойств строительных конструкций применяются композиционные материалы. Надежная работоспособность этих материалов и конструкций на их основе в жестких условиях эксплуатации регламентируется, как правило, не средней  $Y$ , а минимальной прочностью  $Y_{\alpha}$ , так как разрушение самого слабого элемента выводит из строя инженерную систему в целом. Для повышения долговечности и надежности работы конструкционных материалов оптимизацию их свойств целесообразно вести на основе концепции, выдвинутой профессором В.А. Вознесенским об управлении технологией композиционных материалов по максимизации вероятностных показателей или минимизации вероятности разрушения материалов (при заданном уровне напряжений  $Y_{норм}$ ). Целенаправленное изменение свойств составляющих компонентов и создание оптимальной структуры целесообразно вести,



основываясь на полиструктурной теории В. И. Соломатова, согласно которой композиционные строительные материалы (КСМ) представляют собой сложно-организованные структуры типа "структура в структуре". На любом уровне выделения типов структуры КСМ – "структуры в структуре" под оптимальной понимается структура, которая обеспечивает требуемые показатели физико-технических свойств и эксплуатационную надежность композитов более высокого уровня при минимуме использования материально-энергетических ресурсов на их создание.

Структурообразование полимерных КСМ происходит не только в результате физико-химических превращений связующего, но и в результате влияния технологических процессов на взаимодействия отдельных компонентов и целых структур, описанных в фундаментальных трудах Ю.М. Баженова, И. К. Касимова, И. А. Рыбьева, В.И. Соломатова, В. М. Хрулева. Целенаправленное изменение качественных характеристик наполнителей позволяет влиять на структурно-реологические, механические и другие свойства КСМ, что является мощным фактором повышения качества, долговечности и экономичности при экологической безопасности этих материалов. В связи с этим проблема целенаправленного управления технологическими и эксплуатационными свойствами композиционных материалов путем применения эффективных наполнителей приобретает с каждым годом все большую актуальность.

Большой вклад в разработку этих вопросов внесли следующие ученые: Н.В. Ахвердов, А.Р. Ахметов, Ю.М. Баженов, С.М. Байболов, В.А. Вознесенский, В.Н. Выровой, В.В. Воронин, Г.И. Горчаков, Б.В. Гусев, С.Ж. Жекишева, К.К. Куатбаев, В.М. Курдюмова, П.Г. Комохов, Н.Н. Круглицкий, О.П. Мчедлов-Петросян, В.Г. Микульский, Н.А. Мощанский, М.О. Орозбеков, В.В. Патуроев, И.Е. Путляев, С.Ж. Сайбулатов, В.И. Соломатов, В.И. Соловьев, Н.А. Самигов, М.К. Тахиров, Ж.Т. Тентиев, М.Ш. Тулемышев, З.Ш. Шаршеналиева и другие.



В связи с этим на основании анализа общетеоретических положений рассматриваемой проблемы, была выдвинута рабочая гипотеза. Сущность которой заключается в том, что при введении в состав композитов оптимального количества наполнителя рациональной дисперсности можно, сохраняя постоянные реологические характеристики смеси, направленно изменять не только структурообразование, но и вероятностные показатели комплекса свойств конструкционных материалов, позволяющие обеспечить необходимую долговечность и надежность работы конструкции в экстремальных условиях эксплуатации.

*В первой главе* приведен литературный обзор, в котором изложены современные представления об использовании наполненных строительных КСМ в странах СНГ и дальнем зарубежье. Рассмотрены вопросы, посвященные теоретическим основам реологии и структурообразования наполненных КСМ на основе органических и неорганических связующих. Обобщены вопросы, направленные на улучшение физико-механических свойств КСМ и обеспечения их надежности в экстремальных условиях эксплуатации.

Из приведенного обзора литературных данных следует, что основные физико-механические показатели наполненных КСМ преимущественно зависят от соотношения величин прочности матричных материалов и наполнителя, дисперсности наполнителя, степени наполнения и от их удельной поверхности.

К настоящему времени недостаточно изучена проблема создания эффективных композиционных материалов путем целенаправленного регулирования структурно-реологических характеристик и процессов структурообразования, обеспечивающих надежность и долговечность этих композитов, работающих в экстремальных условиях.

В связи с этим для решения данной проблемы была поставлена цель диссертационной работы о развитии теоретических и практических основ получения эффективных композиционных материалов с требуемым комплексом технологических и эксплуатационных свойств с применением



экспериментально-статистического моделирования на ЭВМ.

*Во второй главе* даны обоснования выбора материалов и их характеристика. Методы исследования и методика проведения экспериментов с применением экспериментально-статистического моделирования.

Для расчета комплекса инженерных задач оптимизации вероятностных показателей разработана блок-схема проведения исследований и применен наиболее перспективный класс моделей системы "сырье-смесь-технология-свойства".

Такие модели одновременно учитывают влияние смесевых факторов состава наполнителя и независимых рецептурно-технологических факторов. Структура моделей позволяла описывать влияние удельной поверхности наполнителей (долей фракции  $w_i, \sum_{i=1}^n w_i = 1$ ) на показатели качества композиционных строительных материалов во всем установленном диапазоне изменения степени наполнения шагом вперед можно считать модели, учитывающие как взаимовлияние факторов зернового состава  $w_i, w_j$  и степень наполнения  $x_i, x_j$ , так и межгрупповые взаимодействия этих рецептурных факторов  $w_i, x_j$  с учетом случайных воздействий  $-s(Y)$ , что максимально позволило приблизить результаты моделирования к проявлению реальной дисперсной системы, включающей многофракционные и многокомпонентные наполнители. Расчет коэффициентов математических моделей и их последовательный регрессионный анализ проводились на ЭВМ.

В экспериментальных исследованиях применялись портландцемент М400 Кантского цементно-шиферного комбината с удельной поверхностью  $S \geq 3000$  см<sup>2</sup>/г; в качестве наполнителей – шлак, кварцевый песок и волластонит Чаткальского месторождения Кыргызской Республики.

Следует отметить, что, несмотря на имеющиеся запасы волластонита в нашей стране, в настоящее время добыча и крупномасштабное использование его, в частности, в технологии КСМ отсутствует.



Наполнители - волластонит, шлак и кварцевый песок имели следующие гранулометрические составы: мелкий –  $w_1$  с удельной поверхностью  $S_1=3500\text{см}^2/\text{г}$ ; средний –  $w_2$ , с  $S_2=1500\text{см}^2/\text{г}$ ; крупный –  $w_3$ , с  $S_3=500\text{см}^2/\text{г}$ .

*В третьей главе* для цементных композиций определяли относительный показатель характеризующийся прочностью на отрыв сухих порошков  $P_{om}$  (Па) и кинетику пластической прочности цементных композиций  $P_m$  (кПа).

Результаты исследований сухих смесей порошков портландцемента и наполнителя показывают, что прочность на отрыв у цемента больше, чем наполнителей. При равной дисперсности частиц порошка шлака  $P_{om}$ , установлено, что этот показатель у шлака в 1,5 раза меньше чем волластонита. При этом уменьшение удельной поверхности наполнителей до  $S=500\text{см}^2/\text{г}$  приводит к росту прочности на отрыв эталонного диска исследуемых порошков  $P_{om}$ . Прочность на отрыв связующего, содержащего наполнитель с удельной поверхностью равной  $S=500\text{см}^2/\text{г}$  в количестве до 20%, от массы смешанного вяжущего как показали результаты испытания она была не ниже прочности чистого портландцемента (см. рис.1,а). Полученные результаты исследований позволили сделать вывод, что частицы наполнителя из критерия оптимальности равномерно распределены в структуре смеси смешанного порошкообразного вяжущего и прочность на отрыв эталонного диска сухого (порошка) портландцемента определяется в основном аутогезией частиц этого испытуемого материала, т.е. связующего.

Исследования порошков связующих и их составляющих показали зависимость прочности на отрыв  $P_{om}$  от содержания вида и удельной поверхности наполнителей в сторону увеличения относительного показателя агломерации порошков в смеси относительно эталонного диска.

Для анализа влияния удельной поверхности наполнителей на кинетику структурной прочности использовали коэффициент относительного изменения пластической прочности  $\alpha\{P_m\}$ , определяемый как отношение величины пластической прочности для цементной композиции с наполнителем  $P_m^H$  к



пластической прочности композиции без наполнителя  $P_m^0$  во времени, представленные формулой (1)

$$\varepsilon \{P_m\} = P_m^n : P_m^0, \quad (1)$$

Анализ зависимости относительного изменения пластической прочности  $\varepsilon \{P_m\}$  от дисперсности наполнителя-волластонита показал, что введение частиц с удельной поверхностью  $S = 500 \text{ см}^2/\text{г}$  интенсифицирует структурообразования композиции, частицы с  $S = 1500-3500 \text{ см}^2/\text{г}$  снижают его структурную прочность на 30% (рис. 1, б). Установлено, что содержание наполнителя-волластонита в цементных композициях с удельной поверхностью  $S = 500-1500 \text{ см}^2/\text{г}$  позволяет увеличить структурную прочность композиции  $P_m$  (в возрасте 1 час) с 1,6 до 2,4 раза. Характер изменения кинетики структурообразования цементных композиций в зависимости от величины дисперсности волластонита можно считать доказательством активного участия их в физико-механических процессах организации кластерных структур.

Таким образом, применение наполнителей с удельной поверхностью порядка  $S = 1500 - 3500 \text{ см}^2/\text{г}$  снижает структурную прочность на отрыв порошков цементных композиций и уменьшает усадочные деформации при замедлении набора пластической прочности. В случае, когда дисперсность наполнителей удельной поверхностью находится в пределах  $S = 500 - 1500$ , то аутогезия порошков вяжущего не уменьшается, структурообразование раствора композиции ускоряется, сопровождающееся интенсивным изменением начального объема. Это показывает, что, изменяя удельную поверхность наполнителей в ту или другую сторону, а также соотношение размеров частиц наполнителя и цемента, можно целенаправленно управлять процессами начального структурообразования цементных композиций.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментально-статистического моделирования прочностных свойств цементных композиций, а также стойкость в условиях попеременного увлажнения и высушивания.

Возможность снижения содержания портландцемента в составе



композиционного материала косвенно исследовалась по влиянию дисперсности шлака, кварца и волластонита на прочностные показатели цементных композитов путем построения и анализа комплекса экспериментально-статистических моделей. Установлено, что введение волластонитового наполнителя с дисперсностью более -  $S = 1500 \text{ см}^2/\text{г}$  снижает прочность композиций порядка 30% (рис. 1, г). Введение частиц дисперсностью наполнителей с -  $S = 500-1500 \text{ см}^2$  приводит к появлению эффекта повышения прочности, которой определяли отношением прочности наполненного композита к прочности композита без наполнителя.

Таким образом, частицы волластонита с удельной поверхностью в интервале равным  $S=500-1500 \text{ см}^2/\text{г}$  позволяет снизить содержание портландцемента в составе композита на 20% без снижения прочности, а в случае содержания 20% волластонита с -  $S=500 \text{ см}^2/\text{г}$  наблюдается повышение его прочности на 10-15%.

Возможность снижения содержания портландцемента увеличивается при использовании волластонита за счет проявления им гидравлической активности. Установлено, что оптимальная удельная поверхность волластонита находится в интервале равным  $500-1000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Его введение позволяет уменьшить на 30% содержание портландцемента при сохранении прочностных характеристик. Кроме того экспериментально установлено, что тепловлажностная обработка повышает на 30% прочность цементного камня с добавкой волластонита или уменьшает расход портландцемента также в пределах 30%.

Оптимизация удельной поверхности наполнителя-волластонита в портландцементе, на примере, для бетонов М200 (класс В-15) показала, что, без снижения прочности равноподвижной бетонной смеси с ОК=2... 4 см содержание портландцемента в составе бетона можно уменьшить на 30% за счет введения наполнителя с удельной поверхностью -  $S \leq 1500 \text{ см}^2/\text{г}$ .



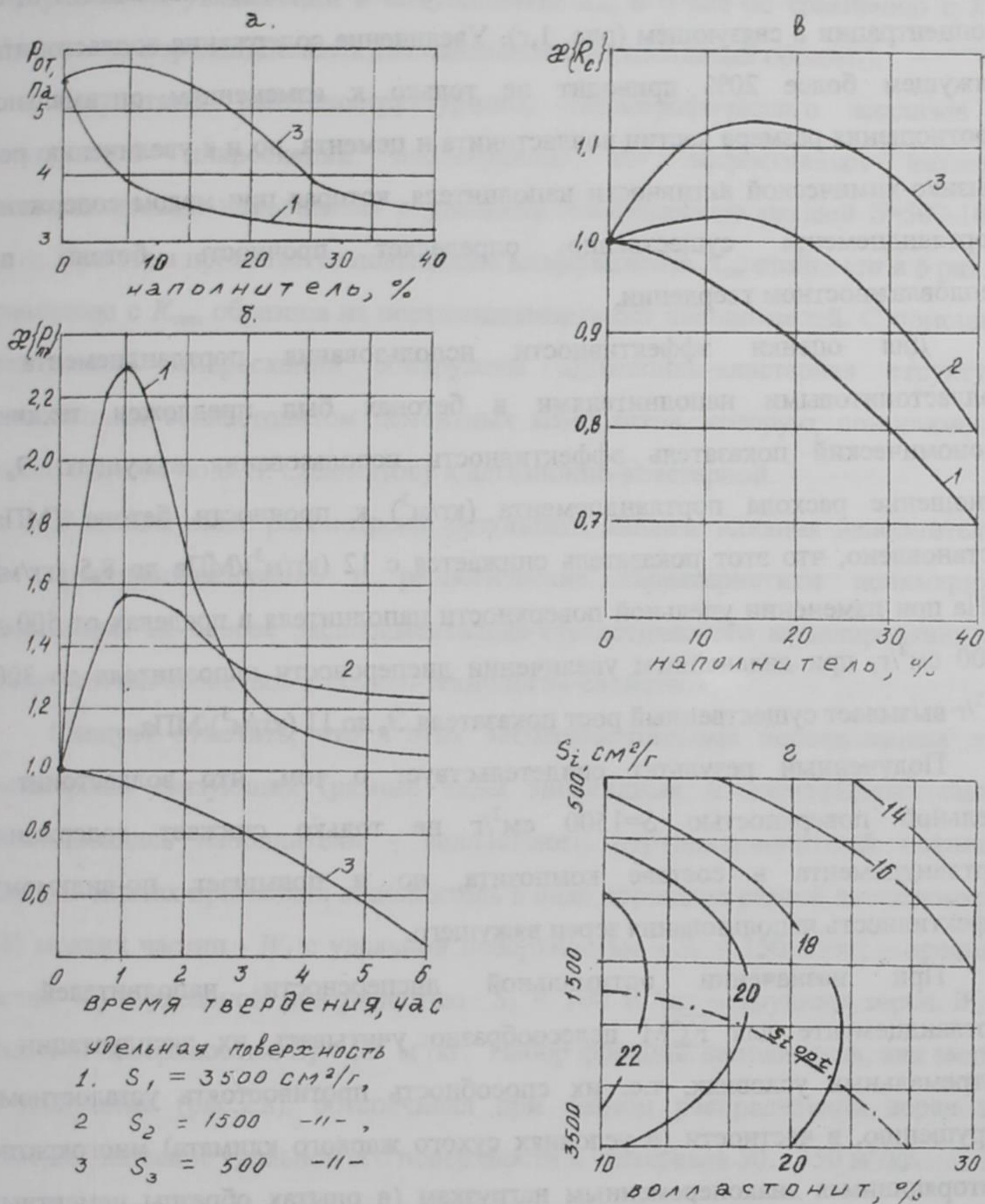


Рис. 1. Влияние дисперсности и количества наполнителя на физико-механические свойства цементных композиций; прочность порошка (а); относительное изменение пластической прочности (б); относительное изменение прочности при сжатии (в); изменение прочности при сжатии для бетона М200 (г).



Установлено, что оптимальная дисперсность наполнителя зависит от его концентрации в связующем (рис. 1,г). Увеличение содержания волластонита в вяжущем более 20% приводит не только к изменениям оптимального соотношения размера частиц волластонита и цемента, но и к увеличению роли физико-химической активности наполнителя, которая при малом содержании портландцемента существенно определяет прочность бетона при тепловлажностном твердении.

Для оценки эффективности использования портландцемента с волластонитовыми наполнителями в бетонах был предложен технико-экономический показатель эффективности использования вяжущего  $\mathcal{E}_e$  - отношение расхода портландцемента ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) к прочности бетона (МПа). Установлено, что этот показатель снижается с 12 ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )/МПа до 8,5 ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )/МПа при изменении удельной поверхности наполнителя в пределах от 500 до 1500  $\text{см}^2/\text{г}$ , при дальнейшем увеличении дисперсности наполнителя до 3000  $\text{см}^2/\text{г}$  вызывает существенный рост показателя  $\mathcal{E}_e$  до 11 ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )/МПа.

Полученный результат свидетельствует о том, что волластонит с удельной поверхностью  $S=1500 \text{ см}^2/\text{г}$  не только снижает содержание портландцемента в составе композита, но и повышает, по-видимому, эффективность использования зерен вяжущего.

При назначении оптимальной дисперсности наполнителей в портландцементе для КСМ целесообразно учитывать их эксплуатации в экстремальных условиях, т.е. их способность противостоять усталостному разрушению, в частности (в условиях сухого жаркого климата) многократно повторяющимся знакопеременным нагрузкам (в опытах образцы цементных композиций подвергались многократному увлажнению) и высушиванию в потоке воздуха  $T=330\pm 5^\circ\text{K}$ ,  $v=2\text{м}/\text{с}$ ).

Анализ результатов испытаний показал, что оптимальным является волластонитовый наполнитель с удельной поверхностью  $S=500-1000 \text{ см}^2/\text{г}$ , применение которого позволяет повысить коэффициент стойкости при



попеременном увлажнении и высушивании  $K_{см}$  в 6 раз по сравнению с  $K_{смэ}$  образцов из портландцемента без наполнителей (эталонный образец).

Результаты рентгеноструктурного, термографического анализов и электронной микроскопии подтвердили, что эффективным является волластонитовый наполнитель с удельной поверхностью равной  $S=500-1000$   $см^2/г$ . При этом проявляется повышение коэффициента  $K_{см}$  стойкости в 6 раз по сравнению с  $K_{смэ}$  образцов из портландцемента без наполнителей. С помощью электронной микроскопии обнаружена адгезионно-кластерная структура наполненных волластонитом цементных композитов, которую, по-видимому, можно отнести по В.И. Соломатову к адгезионно-кластерной.

*В пятой главе* рассмотрены результаты анализа влияния наполнителей на структурообразование и реологические характеристики полимерных композиций на основе экспериментально-статистического моделирования по плану «состав-свойство» и «смесь-технология-свойство».

Следует отметить, что в этих экспериментальных исследованиях для полимерных связующих (разные виды эпоксидных и полиэфирных смол) использовались наполнители – волластонит, портландцементный клинкер, кварц. В опытах применяли наполнитель в виде порошков разной дисперсности -  $W$ : мелких частиц -  $W_1$  с удельной поверхностью -  $S_1 = 350$   $м^2/кг$ ; – средних частиц  $W_2$  с удельной поверхностью  $S_2 = 100$   $м^2/кг$ ; – крупных зерен  $W_3$  с удельной поверхностью  $S_3 = 50$   $м^2/кг$ . Набор фракций наполнителя, как видно на диаграмме (рис.2,а), обеспечивал при разном распределении зерен по размерам значение удельной его поверхности в интервале  $50...350$   $м^2/кг$ .

В эксперименте определяли влияние удельной поверхности наполнителей степени наполнения и скорости деформации на структурно-реологические свойства технологических смесей. Эффективную вязкость  $\eta$ , Па·с, при разных скоростях деформации  $\dot{\epsilon}$ ,  $с^{-1}$ , неотвержденных смесей и предельное напряжение сдвига  $\tau_0$ , Па, определяли на ротационном вискозиметре Реотест-2. Каждую смесь испытывали при скоростях деформации, возрастающих от 1/3 до



$27 \text{ с}^{-1}$ . По результатам экспериментальных исследований были построены модели типа - (1) и диаграммы «гранулометрия- эффективная вязкость» (рис.2,а...д). Анализ диаграмм выявил характерные изменения вязкости под влиянием дисперсности волластонитового наполнителя.

$$\ln \eta = 6,05W_1 + 5,40W_2 + 5,29W_3 - 2,06W_1W_2 - 3,00W_1W_3 - 1,04W_2W_3 \quad (1)$$

На диаграмме (рис.2,а...д) явно выражена зона пониженной вязкости  $\eta \leq 140 \text{ Па}\cdot\text{с}$  в области тройных смесей и композиций, близких к равновесным бинарным «мелкие плюс крупные». В то же время установлено, при равной удельной поверхности наполнителя, только за счет изменения размера частиц вязкость смеси отличается в полтора раза. Минимальная вязкость не соответствует минимальной удельной поверхности, что согласуется с данными В.И. Соломатова и В.А. Вознесенского. При этом установлено, что средняя толщина пленки смолы  $\delta_n$  на крупных зернах втрое больше, чем в зоне минимальной вязкости. Начиная с уровня  $\eta \geq 200 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , наблюдается резкий рост вязкости в сторону монодисперсного мелкого наполнителя. В этих условиях изменения эффективной вязкости вследствие влияния дисперсности наполнителя можно объяснить, по-видимому, проявлением механизмов, связанных и с одной стороны со свойствами материалов, с другой – с динамикой потока неньютоновской жидкости.

В результате межфазных взаимодействий ближайшие к границе раздела слои полимера – межфазные слои – обладают вероятно повышенной плотностью упаковки макромолекул по сравнению с полимером в объеме. Увеличение доли межфазного слоя в слое полимера может повысить его вязкость. Таким образом, механизм межфазных взаимодействий наиболее сильно проявляется в тонких пленках.

В деформируемой смеси образуются новые структурные агрегаты с повышенной внутренней устойчивостью – кластеры мелких и крупных частиц. Их плотная упаковка обеспечивает тонкие пленки высокомолекулярного соединения между ними с повышенной долей межфазного слоя. В результате



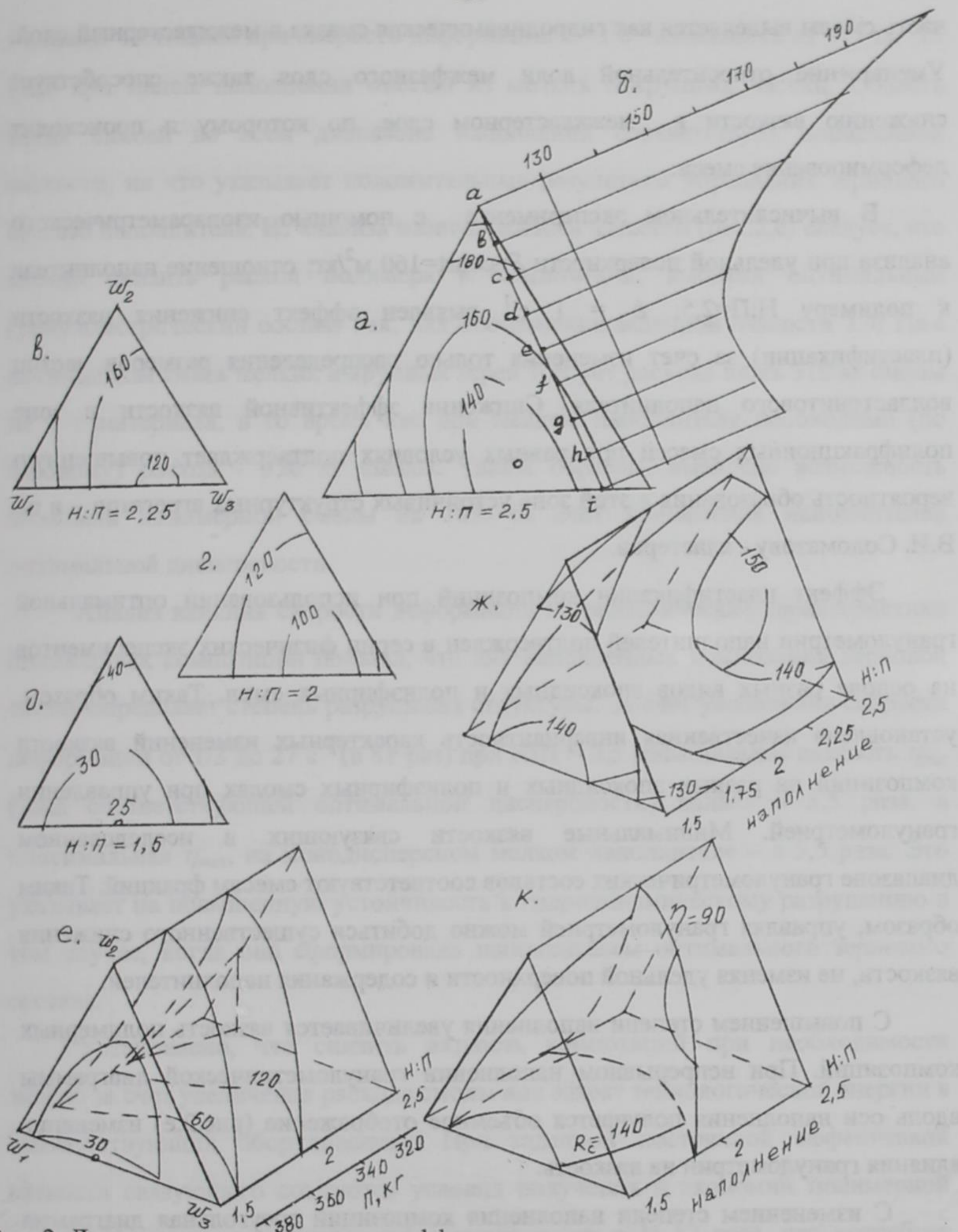


Рис. 2. Диаграмма «гранулометрия-эффективная вязкость» с волластонитом при  $H:\Pi=2,5$  (а); изопараметрический анализ вязкости при постоянной удельной поверхности наполнителя  $100 \text{ м}^2/\text{кг}$  (б); изменение вязкости композиций при переменном наполнении (в...е); изменение прочности на сжатие (ж); диапазоны составов, отвечающих требованиям по вязкости и прочности (к).



часть смолы выделяется как гидродинамическая смазка в межкластерный слой. Уменьшение относительной доли межфазного слоя также способствует снижению вязкости в межкластерном слое, по которому и происходит деформирование смеси.

В вычислительном эксперименте с помощью изопараметрического анализа при удельной поверхности  $S = \text{const} = 160 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; отношение наполнителя к полимеру  $\text{Н:П} = 2,5$ ;  $\dot{\epsilon} = 1 \text{ с}^{-1}$  выявлен эффект снижения вязкости (пластификации) за счет изменения только распределения размеров частиц волластонитового наполнителя. Снижения эффективной вязкости в зоне полифракционных смесей при равных условиях подтверждает повышенную вероятность образования в этой зоне устойчивых структурных агрегатов – и по В.И. Соломатову - кластеров.

Эффект пластификации композиций при использовании оптимальной гранулометрии наполнителей подтвержден в серии физических экспериментов на основе разных видов эпоксидных и полиэфирных смол. Таким образом, установлена качественная инвариантность характерных изменений вязкости композиций на разных эпоксидных и полиэфирных смолах при управлении гранулометрией. Минимальные вязкости связующих в исследованном диапазоне гранулометрических составов соответствуют смесям фракций. Таким образом, управляя гранулометрией можно добиться существенного снижения вязкости, не изменяя удельной поверхности и содержания наполнителей.

С повышением степени наполнения увеличивается вязкость полимерных композиций. При непрерывном наполнении гранулометрической диаграммы вдоль оси наполнения получается объемное отображение (рис.2,е) изменения влияния гранулометрии на вязкость.

С изменением степени наполнения композиций треугольная диаграмма «состав-свойство» переходит в модель «смесь-технология-свойства».

Как видно на рис.2,а...д вязкость связующего с добавкой волластонитового наполнителя для наиболее наполненной композиции с



мелкими частицами при скорости деформации  $\dot{\epsilon} = 1 \text{ с}^{-1}$  изменяется от 415 до 25 Па·с при малом наполнении смесью из мелких и крупных частиц. Область таких смесей во всем диапазоне наполнений соответствует пониженной вязкости, на что указывает положительные результаты управления зернового состава наполнителя. Из анализа изоповерхности вязкости (рис.2,е) следует, что можно снизить расход полимера в композиции, выбирая оптимальный гранулометрический состав. Так, для обеспечения заданной вязкости 120 Па·с оптимальная смесь мелких и крупных зерен требует расхода лишь 310 кг смолы на 1 т материала, в то время как при мелком наполнителе необходимо (по базовому) расход - 350 кг смолы. Таким образом, выявлена возможность экономии полимерной смолы на 10% за счет применения наполнителей оптимальной дисперсности.

Анализ влияния скорости деформации на реологические характеристики полимерных композиций показал, что для наполненных композиций зерновой состав определяет степень разрушения структуры. За счет увеличения скорости деформации от  $1/3$  до  $27 \text{ с}^{-1}$  (в 81 раз) при Н:П = 2,5 минимальная вязкость  $\eta_{min}$  (зона соответствующей оптимальной дисперсности) падает в 3,5 раза, а максимальная  $\eta_{max}$ , на монодисперсном мелком наполнителе – в 5,5 раза. Это указывает на повышенную устойчивость к гидродинамическому разрушению в том случае, когда она сформирована наполнителем оптимального зернового состава.

Установлено, что снизить вязкость композиций при необходимости можно за счет увеличения расхода смолы или затрат технологической энергии в соответствующих оборудовании. При заданной постоянной эффективной вязкости связующего создаются условия получения и экономии полимерной смолы. Увеличение скорости деформации смеси в 45-52 раза, что потребует дополнительных энергозатрат, что невыгодно для производства. Экономия полимера может быть достигнута также за счет перехода от мелкого наполнителя к оптимальному зерновому составу композиции материала.



композиции при использовании оптимальной дисперсности портландцементного наполнителя. С увеличением степени наполнения от 1,5 до 2,5 динамический модуль упругости растет по мере увеличения в объеме композита доли высокомодульного наполнителя, утоньшения в среднем полимерных прослоек и увеличения доли структурированных межфазных слоев в матрице.

По полученным моделям для обеспечения комплекса технологических и эксплуатационных свойств полимерных композиций решались следующие задачи:

1. Обеспечение заданного комплекса свойств связующего при постоянной полимероемкости;
2. Снижение расхода полимерных связующих (с увеличением степени наполнения).

На рис.2 е, показано решение первой задачи, в частности при Н:П=2,25 и нормативных требованиях к полимерной композиции для конструкционных композитов:

$30 \leq \eta \leq 90$  Па·с – эффективная вязкость

$10 \leq \tau_0 \leq 60$  Па – предельное напряжение сдвига

$R_u \geq 35$  МПа;

$R_c \geq 140$  МПа;

$E_u \geq 10$  ГПА.

Верхние пределы требований ( $\eta$ ,  $\tau_0$ ) к реологическим характеристикам обусловлены затратами энергии на перемешивание смеси, а нижние – возможностями ее однородного распределения и сокращением потерь на стекание при формовании изделий. Для кварцевого наполнителя рис.2,к приведены диаграммы «гранулометрия-регламентируемое свойство композиции». Решения лежат в области образуемой пересечением полей, в которых выполняются ограничения по отдельным свойствам ( $\eta$ ,  $\tau_0$ ,  $R_u$ ,  $R_c$ ,  $E_d$ ). Оптимальный состав (мелкий -  $W_1=32\%$ ; средний -  $W_2=68\%$ ; крупный -  $W_3=0$ ;  $S=170$  м<sup>2</sup>/кг рис. 2,к) обеспечивает Н:П=2,27 и расход полимера П=306 кг на 1 т связующего. При минимально допустимом наполнении, выраженным



соотношением Н:П=1,81 и соответственно  $W_1=0,60$ ;  $W_2=0,40$ ;  $W_3=0$  с удельной поверхностью  $S=250 \text{ м}^2/\text{кг}$  расходует количество полимера равное 356 кг/т. Таким образом, установлена возможность экономии полимера порядка на 12-15% за счет оптимизации гранулометрического состава наполнителя при одновременном улучшении механических свойств композиции.

По результатам экспериментально-теоретических исследований комплекса свойств полимерных композитов разработаны «Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для оптимизации наполнителя в полимерных композиционных материалах», ориентированные на использование компьютерной технологии или на табличный выбор состава полимерных композиций с заданными технологическими и эксплуатационными свойствами.

При моделировании влияния состава полимерных композитов на вероятностные показатели их прочности на изгиб и ударной вязкости использованы два критерия оптимальности:

$Y\{\alpha_{\text{норм}}\}$ -минимально допустимые с риском  $\alpha=0,05$  значения прочности на изгиб  $R_n$  и ударной вязкости  $a$ , которые необходимо максимизировать;

$\alpha\{Y_{\text{норм}}\}$ - риск получения композиционного материала с качеством ниже нормативного уровня, которую необходимо минимизировать; такими показателями являлись (исходя из конкретных условий работы материала) уровни прочности на изгиб  $R_n=40 \text{ МПа}$ ; удельная ударная вязкость  $a=2,0 \text{ кДж/м}^2$ .

В экспериментальных исследованиях использовали эпоксидную смолу ЭД-20, двухфракционный волластонитовый наполнитель мелкий –  $W_1$  с удельной поверхностью  $S_1=350 \text{ м}^2/\text{кг}$  и крупный –  $W_3$  с  $S_3=50 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

При решении задач в каждой точке плана эксперимента испытывались  $n=50$  образцов, по экспериментальным данным рассчитывались: оценки среднего  $\bar{Y}$ ; дисперсия  $S_u$ ; коэффициент вариации  $V$ ; коэффициент асимметрии  $A^*$  и коэффициент эксцесса  $E^*$ . Полученные результаты испытаний на первом



этапе упорядочивались в ранжированный ряд (для восьми составов по 50 значений для прочности на изгиб  $R_u$  и ударной вязкости  $a$ ), который и служил первичным информационным массивом.

По ранжированным рядам строили гистограммы и рассчитывали параметрические оценки  $\bar{Y}$ ,  $S$ ,  $V(\%)$ ,  $A$  и  $E$  (табл.1). В табл.1 приведены результаты испытаний базового и рекомендуемого состава композиций. Ни в одном из опытов распределение прочности композитов не соответствовало нормальному закону распределения ( $|A^*| \leq 0,53$  и  $-0,81 < E^* < 1,01$  при риске  $\alpha = 0,05$ ).

Из данных экспериментов установлено, что гипотеза о нормальности распределения свойств композитов отклонена, поэтому вероятностные показатели  $Y_\alpha$  целесообразно в таком случае определить, как непараметрическую характеристику – квантиль, на что указывает в своих фундаментальных трудах проф. В.А. Вознесенский.

Из анализа гистограмм восьми составов композиций по прочности на изгиб  $R_u$  и ударной вязкости  $a$  следует, что вероятностные показатели прочности полимерных композитов подчиняются сложным законам, имеющим асимметричный характер; неучет асимметричности и эксцесса фактических распределений может привести к перерасходу связующего или к нарушениям обеспеченности конструкционных композитов.

По результатам экспериментальных исследований был получен комплекс моделей по средней прочности  $\bar{R}$ , минимальной прочности с риском  $\alpha = 0,05$ ;  $R_{05}$  и по вероятности разрушения  $\alpha_{40}$  ( $0 \leq \alpha_R \leq 1$ ).

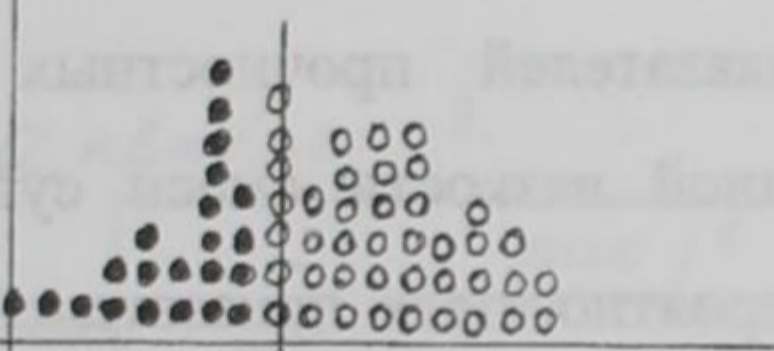
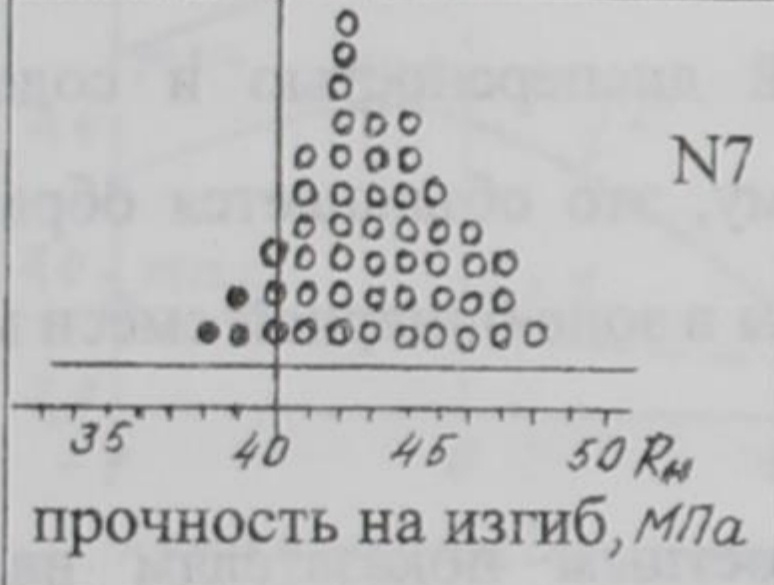
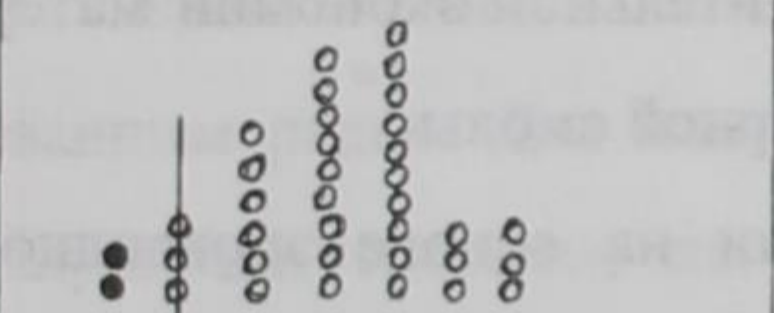
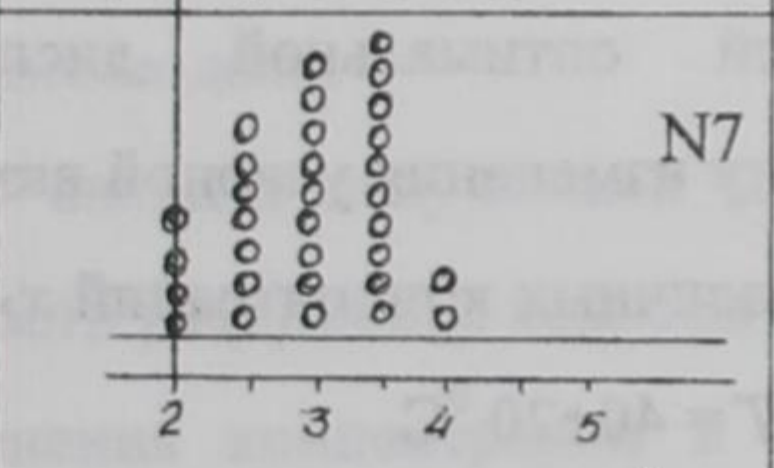
$$\bar{R}_u = 42,2m_1 + 39,6m_2 + 41,4m_3 + 9,2m_1m_2 + 14,3m_1m_3 - 3,1m_2m_3, \quad (2)$$

$$R_{05} = 33,6m_1 + 34,6m_2 + 35,6m_3 + 6,6m_1m_2 + 19,8m_1m_3 + 38,7m_1m_2m_3, \quad (3)$$

$$\alpha_{40} = -0,83m_1 + 0,32m_2 - 0,42m_3 - 5,50m_1m_2 - 6,61m_1m_3 + 2,67m_2m_3 - 30,02m_1m_2m_3, \quad (4)$$



Статистическая характеристика эксперимента

Состав <u>Н:П</u> $W_{к}, \%$ $W_{м}, \%$	Гистограмма распределений базового и предлагаемого состава	Статистические характеристики рядов			Вероятностные оценки прочности	
		$\bar{R},$ МПа	$V,$ %	$\frac{A}{E}$	$R_{05},$ МПа	$a_{40},$ %
<u>1</u> <u>0</u> 100	N3 	41,4	16,3	$\frac{1,3}{-0,8}$	35,6	39,6
<u>2</u> <u>20</u> 80	N7 	43,5	13,8	$\frac{1,4}{-0,8}$	38,9	7,8
Состав	Ударная вязкость	$\bar{a},$ кДж/м <sup>2</sup>	$V,$ %	$\frac{A}{E}$	$a_{05}$	$a_{50}$
<u>1</u> <u>0</u> 100	N3 	3,2	23,0	$\frac{-0,2}{-0,3}$	1,7	3,2
<u>2</u> <u>20</u> 80	N7 	2,9	15,0	$\frac{-0,3}{-0,8}$	2,1	3,1



При переходе от среднего показателя прочности на изгиб (2) к вероятностному (3) происходит смещение области минимума в сторону мелкого наполнителя. Область максимальных значений прочности неизменна и лежит в зоне составов на мелком наполнителе. В то же время, наименее вероятно разрушение композита при заданной изгибающей нагрузке равной  $R_{mp}=40$  МПа, что отражает модель - (4) в составах на бинарных смесях наполнителя при степени наполнения композита  $[Н:П]_{opt}=2...2,3$  и содержанием крупного наполнителя до 25%. Подобные зависимости были получены для ударной вязкости полимерных композитов.

Моделированием вероятностных показателей прочностных свойств композитов установлено, что при постоянной вязкости смеси существуют составы с повышенной обеспеченностью вероятностных показателей свойств например, при  $Н:П=2...2,3$  с оптимальной дисперсностью и содержанием крупного наполнителя до 25%. По-видимому, это объясняется образованием устойчивой адгезионно-кластерной структуры в зоне бинарной смеси мелкого и крупного наполнителя.

Анализ и оптимизация по вероятностным показателям надежности композитов показали, что переход от проектного состава ( $Н:П=1...1,5$ ) к оптимальному  $[Н:П]_{opt}=2...2,3$  с содержанием 20...25% крупного наполнителя не только повышает обеспеченность работы конструкций в экстремальных условиях, но и обеспечивает получение значительной экономии материальных ресурсов до 10% на 1 т используемой полимерной смолы.

На следующем этапе для композиции на основе эпоксидной смолы ЭИС-1 с использованием наполнителей оптимальной дисперсности исследовали по двухфакторному эксперименту изменения ударной вязкости ( $a$ , кДж/м<sup>2</sup>), при воздействии серной кислоты различных концентраций  $x_1=C$ , % от 0,1 до 10% (1/10; 1 и 10%) и температуры  $x_2=T = 40 \pm 20$  °С.

В каждой точке плана испытывались по 50 образцов. Поскольку в опытах распределения по ударной вязкости отличны от нормального, то



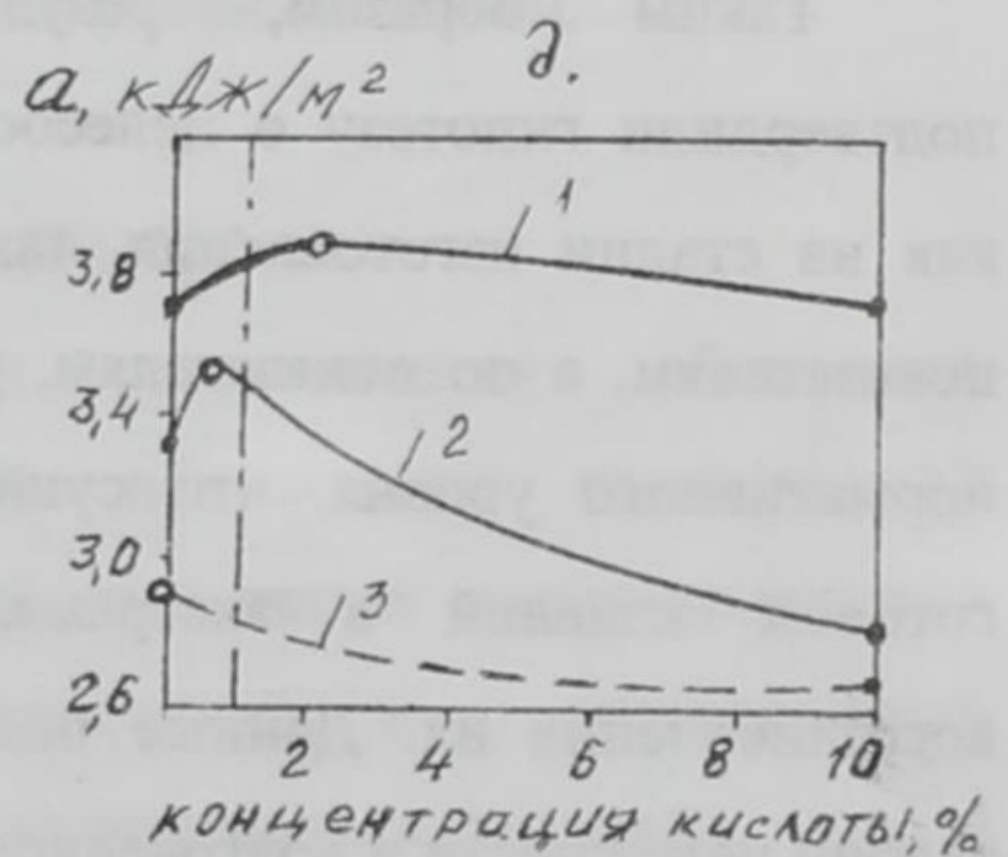
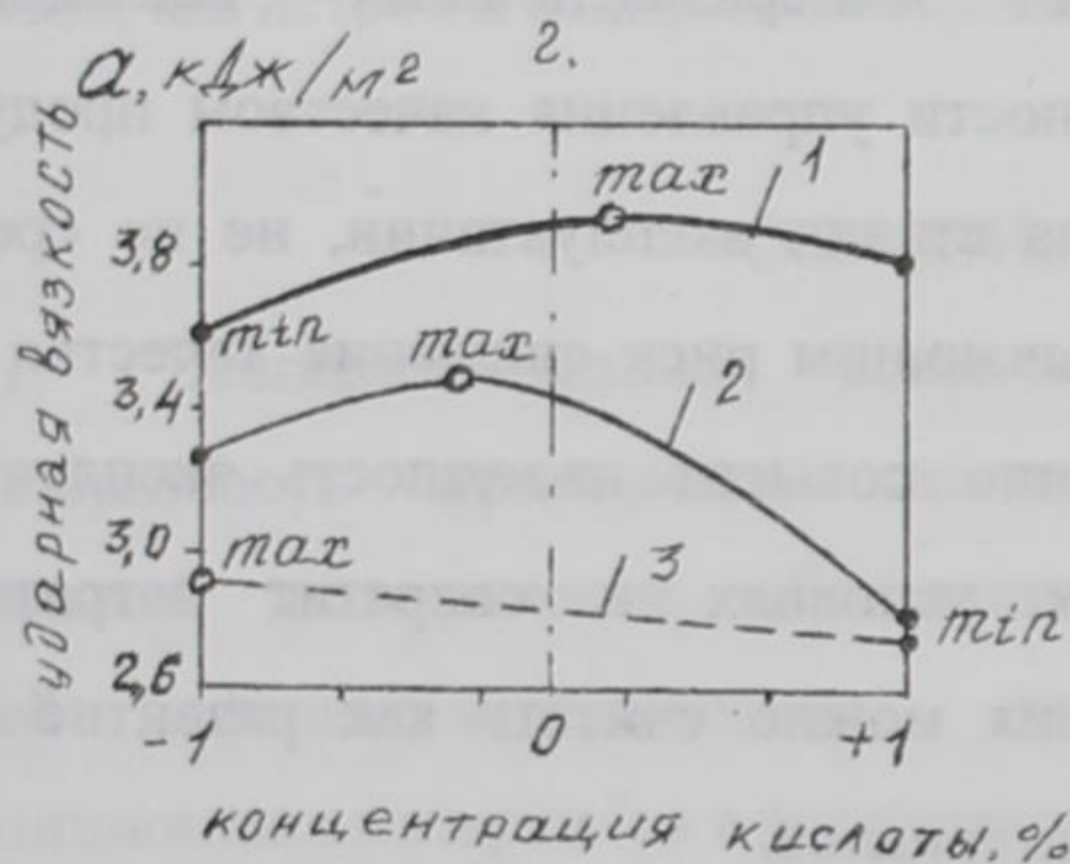
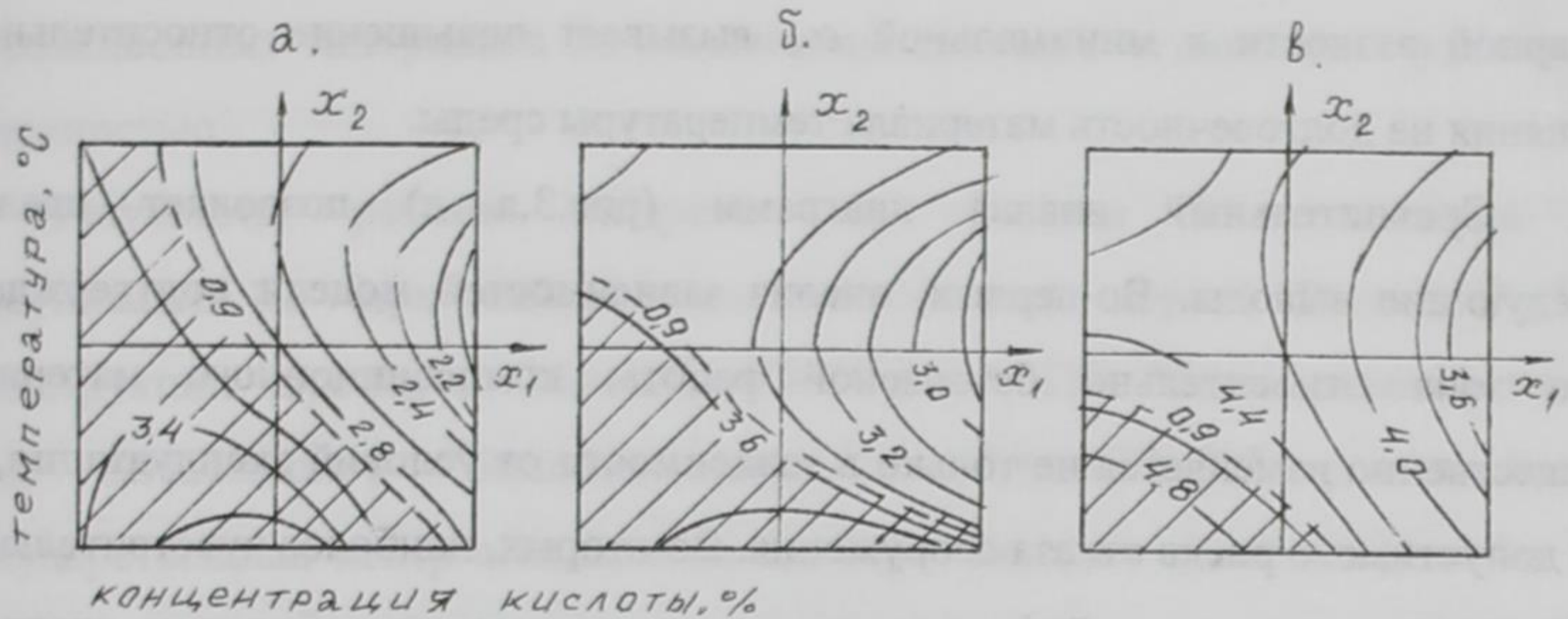


Рис. 3. Изменение ударной вязкости композита при различной степени риска:  $\alpha = 0,05$  (а);  $\alpha = 0,50$  (б);  $\alpha = 0,95$  (в) и от концентрации кислоты (1 — максимально возможной; 2 — средней; 3 — минимально возможной) (г-д).

квантили вероятностных показателей оценены по соответствующим ранжированным рядам. Для анализа степени влияния риска  $\alpha$ , допускаемого при эксплуатации системы, на технические решения построены неполные кубические модели.

Из анализа полученных моделей по средней ударной вязкости и по вероятности разрушения композитов при заданном риске  $\alpha = 0,05$  в зависимости от изменения концентрации и температуры следует, что при повышении надежности материала (переход от  $\alpha = 0,95$  к  $\alpha = 0,05$ ) резко возрастает влияние концентрации кислоты. Кроме того, переход от 95%-ной обеспеченности по



ударной вязкости к минимальной  $\alpha_{05}$  вызывает повышение относительного влияния на долговечность материала температуры среды.

Сравнительный анализ диаграмм (рис.3,а...д) позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, анализ зависимостей модели подтверждает, что зона относительно безопасной работы композиционного материала существенно изменяется не только в зависимости от условий эксплуатации, но от допустимого риска отказа сооружения. Во-вторых, наиболее чувствительна к воздействию агрессивной среды композиты, имеющие наибольшие значения показателя ударной вязкости.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтвердили гипотезу о целесообразности управления качеством продукции как на стадии изготовления, так и на стадии эксплуатации, не по средним показателям, а по показателям, учитывающим риск снижения качества ниже нормативного уровня, что существенно повысит надежность эксплуатации готовых изделий в экстремальных условиях и сократит затраты на восстановление их. Данные положения можно считать как развитие основ теории надежности и долговечности материалов.

*В седьмой главе* рассмотрена технико-экономическая оценка результатов работы. Определены условия и даны рекомендации по практическому применению разработанных составов наполненных композиционных строительных материалов повышенной надежности при строительстве конкретных объектов. Анализ и оптимизация по вероятностным показателям прочностных свойств композитов на основе полимерных и минеральных связующих показали, что применение наполнителей оптимальной дисперсности обеспечивает не только значительную экономию ресурсов (до 20% на 1 тонну используемого связующего), но и повышает надежность работы конструкций в экстремальных условиях.

В результате теоретических обобщений и экспериментальных исследований решена научно-техническая проблема создания эффективных



композиционных материалов на основе наполнителей с различной удельной поверхностью.

Результаты работы внедрены на объектах Минтранспорта и коммуникации КР - при реабилитации автомобильной дороги "Бишкек-Ош" и реконструкции аэропорта "Манас"; АО "Факел"; ПО "Станкостроительный завод В.И.Ленина"; "Бишкектеплосеть", «КыргызНИИПСтроительства», «Государственный центр стандартизации, сертификации и лицензирования в строительстве», что обеспечило экономический эффект в размере более 2,0 млн. сом и использованы в учебном процессе в качестве учебного пособия для студентов, магистров и аспирантов строительных специальностей.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Экспериментально доказана и теоретически обоснована целесообразность применения композиций на основе наполнителей оптимальной дисперсности, обеспечивающей получение гарантированных уровней физико-механических характеристик и долговечность композиционных материалов в экстремальных условиях эксплуатации.

2. Выявлено, что введение наполнителей оптимальной дисперсности и количества снижает дефектность структуры цементных композитов, повышает их стойкость в условиях многократного увлажнения и высушивания. Это указывает на участие наполнителей в процессах систематизации структуры композиционного материала и как демпфер, препятствующий разрушению композитов в условиях сухого жаркого климата. Применение волластонита оптимальной дисперсности в количестве 15...20% по массе ведет к повышению механических характеристик композиционного материала в среднем на 20%. Введение наполнителей оптимальной дисперсности позволяет получить композиции и бетоны на их основе, прочность которых не ниже прочности бездобавочных бетонов и снизить при этом расход связующего на 30%.

3. Подтверждена с помощью рентгеноструктурного, термографического анализов и электронной микроскопии эффективность использования в



композиционных материалах волластонитового наполнителя с удельной поверхностью  $S = 50-150 \text{ м}^2/\text{кг}$ , выразившееся в увеличении физико-механических свойств и повышении долговечности композитов в экстремальных условиях эксплуатации. Обнаружена адгезионно-кластерная структура в композициях с волластонитом.

4. Исследованием реологических и механических свойств полимерных композиционных материалов установлено, что структурообразующее действие наполнителя зависит от его суммарной поверхности, объемной доли в композиции и от распределения частиц разной поверхностной активности, определяемой размером частицы и его минерального состава.

5. Установлено, что при постоянстве удельной поверхности ( $100 \leq S = \text{const} \leq 200 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) и содержания в композите ( $1,5 \leq \text{Н:П} = \text{const} \leq 2,5$ ) эффективная вязкость снижается в 1,5...4 раза только за счет оптимизации зернового состава. Этот эффект объясняется образованием в деформируемой смеси структурных агрегатов с повышенной внутренней устойчивостью – кластеров. При этом механические свойства композита не снижаются. Выявлены пути уменьшения полимероемкости композиций без ухудшения его технологических и эксплуатационных показателей.

6. Установлена качественная инвариантность характерных изменений эффективной вязкости полимерных композиций при управлении гранулометрией полидисперсных наполнителей. Анализ эффективной вязкости в диапазоне 3...570 Па·с показал, что пониженную вязкость при  $\text{Н:П} = \text{const}$  обеспечивают бинарные смеси мелкого и крупного наполнителя и близких к ней тройных смесях. Нарушение оптимальности гранулометрии вынуждает для сохранения заданной вязкости увеличивать скорость деформации полимерной композиции в 5...90 раз, что повышает энергоемкость технологий.

7. Анализ механических свойств (пределов прочности на сжатие – 99...165 МПа и изгиб – 22...49 МПа, динамического модуля упругости 8...13,0 ГПа) показал, что оптимальность зернового состава наполнителя зависит от его вида (минералогии) степени наполнения и от вида нагружения. Характер и степень корреляционных связей между этими свойствами зависят от



того, за счет каких факторов достигается увеличение одного из них.

8. Установлен факт повышения обеспеченности заданных свойств композиционных материалов при пониженном расходе полимерных связующих и при сохранении заданной вязкости за счет применения наполнителей оптимальной дисперсности. Экспериментально-статистическим моделированием показано, что физико-механические показатели композитов подчиняются сложным нелинейным законам, имеющим асимметричный характер, не учет которого может привести к существенному перерасходу связующего или к нарушениям обеспеченности эксплуатационным свойств конструкционных материалов.

9. Впервые построены неординарные экспериментально-статистические модели, которые связывают рецептурно-технологические и конструктивно-эксплуатационные факторы со средними показателями прочностных свойств и вероятностными показателями качества, а именно минимальную прочность при заданном риске и вероятность разрушения композита при заданной нагрузке. Это позволяет решать интерполяционные задачи об определении нормативных характеристик конструкционных композитов.

10. Установлено, что зона относительно безопасной работы конструкционного материала изменяется в зависимости от условий эксплуатации и от допустимого риска отказа сооружения. Наиболее чувствительны к воздействию агрессивной среды композиты, имеющие наибольшие значения по ударной вязкости. Подтверждена гипотеза о целесообразности управления качеством продукции как на стадии изготовления, так и на стадии эксплуатации не по средним показателям комплекса свойств, а по показателям, учитывающим уровень риска снижения качества ниже нормативного уровня, что существенно повысит надежность эксплуатации готовых изделий в экстремальных условиях и сократит затраты на восстановление их ресурса, а также расширит содержательную основу теории надежности и долговечности материалов.

11. Разработаны «Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для оптимизации наполнителя в



полимерных композиционных материалах», ориентированные как на использование компьютерной технологии, так и на табличный выбор состава полимерных композиций с заданными технологическими и эксплуатационными свойствами.

12. Предложены составы композитов на основе минеральных и полимерных связующих, обеспечивающие снижение расхода связующих до 20% при сохранении заданных технологических и эксплуатационных параметров качества по показателям надежности и долговечности конструкционных материалов.

В результате теоретических обобщений и экспериментальных исследований решена научно-техническая проблема создания эффективных композиционных материалов на основе наполнителей с различной удельной поверхностью.

Результаты работы внедрены на объектах Минтранспорта и коммуникации КР – при реабилитации автомобильной дороги «Бишкек-Ош» и реконструкции аэропорта «Манас», АО «Факел», ПО «Станкостроительный завод им. В.И. Ленина», «Бишкектеплосеть», «КыргызНИИПСтроительства», «Государственный центр стандартизации, сертификации и лицензирования в строительстве», что обеспечило экономический эффект в размере более 2,0 млн. сом и использованы в учебном процессе в качестве учебного пособия при подготовке инженеров, магистров и аспирантов.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Абдыкалыков А.А. Экспериментально-теоретические основы оптимизации реологических и прочностных свойств наполненных композиционных строительных материалов. – Бишкек: Технология, 2000. – 252 с.
2. Выровой В.Н., Абдыкалыков А.А. Моделирование и оптимизация процессов структурообразования композиционных материалов. - Киев: Общество "Знание" УССР, 1985 - 16 с.



3. Моделирование и оптимизация свойств композиционных строительных материалов / Абдыкалыков А.А., Вознесенский В.А., Мавлянов А.С., Ляшенко Т.В. "Фрунзе, ФПИ, 1988. -109 с.
4. Абдыкалыков А.А., Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. Моделирование влияния рецептуры на оценки вероятности разрушения полимерного композита.// «Известия АН Киргизской ССР Физико-технические и математические науки. Институт физики АН Кирг. ССР". - Фрунзе 1989. №4. - с.21-24.
5. Абдыкалыков А.А., Барабаш И.В. Моделирование и анализ влияния рецептуры и режима отверждения эпоксидного связующего на его водостойкость.// Работоспособность композиционных строительных материалов в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов – Казань, Казанский ИСИ, 1985-с.41-42.
6. Абдыкалыков А.А. Моделирование и анализ влияния рецептуры с побочными продуктами суперфосфатной промышленности и режима отверждения полимерного композита на его водостойкость. //Сб. научных трудов. ФПИ, 1990 - с. 82-91.
7. Абдыкалыков А.А. Оптимизация вероятностных показателей прочностных свойств композиционных строительных материалов для снижения материалоемкости конструкций // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура - Новосибирск; 1991, №3 -с. 70-73.
8. Абдыкалыков А.А., Джайчиев К.Дж. Оптимизация вероятностных показателей прочностных свойств строительных материалов. – Бишкек: КыргызНИИТИ, 1992. -76 с.
9. Абдыкалыков А.А. Абеков Т.У., Тентиев Ж.Т. Русско-кыргызский словарь терминов по строительным материалам и изделиям.-Бишкек; КАСИ. 1993 - 166 с.
10. Абдыкалыков А.А. Оптимизация зернового состава наполнителя для бетонов // Сб. научных трудов КыргызНИИПстроительства (1994-1995 гг.)



- Бишкек, 1995 - с. 150-157.
11. Сырьевые ресурсы и перспективы развития основных строительных материалов в Киргизской республике // А.А. Абдыкалыков, Н.С. Абдылдаев, Б.Т. Ассакунова, Н.М. Степовая. - Бишкек: КыргНИИТИ, 1996 - 48 с.
  12. Абдыкалыков А.А., Болотов Т.Т. Влияние отходов промышленности на процесс спекания керамических масс и свойств кирпича. //Сб. научных трудов КыргызНИИПстроительства (1996-1997) -Бишкек: Илим, 1997 - с. 130-135.
  13. Абдыкалыков А.А., Абдраимов Ж. Исследование влияния рецептурных факторов на свойства безобжигового кирпича //Сб. научных трудов КыргызНИИПстроительства (1996-1997 гг.). - Бишкек: Илим, 1997 - с. 135-143.
  14. Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т., Абдраимов Ж. Влияние природы сырьевых материалов на свойства безобжигового кирпича //Сб.научных трудов. Вопросы строительства и архитектуры Республики Узбекистан. - Ташкент: ТАСИ, 1997 - с. 97-101.
  15. Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т., Болотов Т. Получение лицевого кирпича на местном сырье полусухим прессованием. // Сб. научн. трудов. Вопросы строительства и архитектуры Республики Узбекистан. - Ташкент: ТАСИ, 1997 - с. 101-104.
  16. Абдыкалыков А.А., Абдраимов Ж., Маразыкова Б.Ж. Влияние термоактивации глинистого сырья на свойства безобжигового кирпича // Сб. научных трудов. Часть I. Институт химии и химической технологии НАН КР. - Бишкек: Илим, 1998 - с.52-58.
  17. Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т., Мамбеталиева Д.А., Маразыкова Б.Б. Применение отходов промышленности при получении вяжущих материалов //Сб. научных трудов. Часть I. Институт химии и химической технологии НАН КР. - Бишкек;Илим, 1998 - с. 58.64.



18. Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т., Болотов Т., Маразыкова Б.Б. Фасадная керамика светлых тонов из местного сырья и отходов промышленности // Сб. научных трудов. Часть I. Институт химии и химической технологии НАН КР. - Бишкек:Илим, 1998 - с.64-"С.
19. Тентиев Ж.Т., Абдыкалыков А.А. Лабораторный практикум по технологии бетонных и железобетонных изделий. Уч. пособие.-Бишкек: КАСИ 1998 - 69 с.
20. Абдыкалыков А.А., Абдраимов Ж. Особенности структурообразования безобжиговых стеновых материалов // Сб. научных трудов КыргызНИИПстроительства (1998-1999 гг.) - Бишкек:Илим, 1999 - с. 166-175.
21. Абдыкалыков А.А., Мамбеталиева Д.А. Влияние фазового состава сульфоцементов на их физико-механические свойства //Сб. научных трудов КыргызНИИПстроительства (1993-1999 гг.) .-Бишкек: Илим, 1999 - с. 175-178.
22. Абдыкалыков А.А., Тентиев Ж.Т. Опыт оптимизации гранулометрии наполнителей композиционных материалов // Сб. Оптимизация в материаловедении. Международная инженерная академия. - Одесса, 1999 - с.60.
23. Абдыкалыков А.А. Проблема повышения обеспеченности прочностных свойств композиционных материалов // Материалы 3-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава. КАСИ, Бишкек, 1999 - с. 40.
24. Абдыкалыков А.А. Способы улучшения и качества стеновых материалов на основе местного сырья // Сб. научных трудов «Проблемы строительства и архитектуры на пороге XXI века» ч. 1, КГУСТА, Бишкек: 2000. –с. 98-105.
25. Абдыкалыков А.А. Проблемы повышения качества современных композиционных материалов на основе органоминеральных связующих //



- Сб. научных трудов «Проблемы строительства и архитектуры на пороге XXI века» ч. 1, КГУСТА, Бишкек: 2000. –с. 92-98.
26. Абдыкалыков А.А., Джусупова М.А., Болотов Т. Оптимизация состава сырьевых масс керамического кирпича с использованием базальтовой породы // Сб. научных трудов «Проблемы строительства и архитектуры на пороге XXI века» ч. 1, КГУСТА, Бишкек: 2000. –с. 87-92.
  27. Абдыкалыков А.А., Мамбеталиева Д.А. Эффективные вяжущие материалы на основе местного сырья и отходов промышленности // Сб. научных трудов «Проблемы строительства и архитектуры на пороге XXI века» ч. 1, КГУСТА, Бишкек: 2000. –с. 112-116.
  28. Абдыкалыков А.А., Абдраимов Ж. Факторы, влияющие на процесс структурообразования безобжиговых стеновых материалов // Сб. научных трудов «Проблемы строительства и архитектуры на пороге XXI века» ч. 1, КГУСТА, Бишкек: 2000. –с. 116-123.
  29. Абдыкалыков А.А. Структурно-механические особенности разрушения бетонов на основе цементных композиций // Материалы Международной научно-практической конф. «Современное состояние и перспективы развития строительной науки», ч.2. КГУСТА, Бишкек, 2000 – с. 30-36.
  30. Абдыкалыков А.А., Джусупова М.А., Атаходжаев Ш.Х. Оценка пригодности местного сырья для производства керамических плиток и оптимизация их состава// Материалы Международной научно-практической конф. «Современное состояние и перспективы развития строительной науки», ч.2. КГУСТА, Бишкек, 2000 – с. 36-40.
  31. Абдыкалыков А.А., Болотов Т.Т. Оптимизация рецептуры и свойств высокопрочного керамического кирпича на основе местного сырья и отходов промышленности // Материалы Международной научно-практической конф. «Современное состояние и перспективы развития строительной науки», ч.2. КГУСТА, Бишкек, 2000 – с. 42-52.
  32. Абдыкалыков А.А. Оптимизация физико-механических свойств



наполненных композитов на основе органоминеральных связующих // Материалы Международной научно-практической конф. «Современное состояние и перспективы развития строительной науки», ч.2. КГ УСТА, Бишкек, 2000 – с. 52-58.

33. Абдыкалыков А.А., Сатыбалдиев Ж.Ж., Абдраимов Ж. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для оптимизации наполнителя в композиционных материалах. Минтранспорта и коммуникации КР – КГ УСТА, Бишкек, 2000 – 65 с.
34. Абдыкалыков А.А. Физико-механические особенности структурообразования наполненных композиций на основе органических связующих //Сб. научн. трудов. Строительная наука: проблемы и решения КыргызНИИПСтроительства –Бишкек: Илим, 2000 – с. 21-27.
35. Керамические изделия из местного сырья /Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т., Джусупова М.А., Атаходжаев Ш.Х. // Наука и новые технологии, Бишкек: 2000, №2 –с. 156-160.
36. Влияние гранулометрического состава глинистого сланца на процессы структурообразования керамического черепка из многокомпонентных сырьевых шихт / Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т., Болотов Т., Маразыкова Б.Б. Сб. научных трудов. ч.1. Природное сырье, промышленные отходы и продукты их переработки и утилизации. Биологическая активность некоторых препаратов. Институт химии и химической технологии НАН КР. –Бишкек: Илим, 2000 – с. 108-115.
37. Абдыкалыков А.А., Абдраимов Ж., Маразыкова Б.Б. Использование отходов промышленности в производстве безобжиговых стеновых материалов // Сб. научных трудов. ч.1. Природное сырье, промышленные отходы и продукты их переработки и утилизации. Биологическая активность некоторых препаратов. Институт химии и химической технологии НАН КР. –Бишкек: Илим, 2000 – с. 66-73.



## АННОТАЦИЯ

Диссертациялык иш курулуш тармагындагы учурдун актуалдуу проблемаларын чечуугө арналган – экстремалдык шартта волластонит толуктагыч заттарынан композициялык курулуш материалдарын жогорку сапатта, бекем касиеттуулуктө даярдоо жана аны оптималдуу пайдалануу жагы каралган. Композиттердин бекемдуулук касиеттеринин болжолдуу көрсөткүчтөрүнө рецептуалдык технологиялык факторлордун тийгизген таасирин эксперименталдык-статистикалык моделдерди жана ЭВМди колдонуу мумкунчулугу негизделген. Толуктагыч композиттердин структуралык тузулушун адгезиялык-кластердик теориясы иштелип чыккан. Өзгөрүлмө нымдуулук жана кургактык шартында волластонитти оптималдуу кукумдуулуктө жана белгилуу өлчөмдө жогорку бекемдуулук касиетинде камсыздоо менен чапташтыргыч заттарды унөмдөө жагы каралган. Композициялык курулуш материалдарынын структуралык тузулушунө жана реологиялык мунөздөмөсүнө көпфракциондук толуктагычтардын инварианттык таасир этуусу аныкталган. Бекемдик чегинин орточо маанисинен булунуунун болжолдуу жана оптималдуу критерийлерине өткөн учурда берилген оордук кучундө оптималдуу структуранын векторунун олуттуу өзгөрүүсү болуп өтөөрү, эксперименталдык-теориялык жактан далилденген.

Конструкциялык композиттердин бекемдуулук касиеттеринин болжолдуу көрсөткүчтөрүн оптималдаштыруу ыкмасы иштелип чыккан.

Оптималдуу кукумдуктөгү жана көп сандагы аралашмалуу толуктагычтардын чектерин аныктоо менен, чапташтыргыч заттарды 20%-ке унөмдөгөн композиттердин бекемдуулук касиеттери камсыздалган. Оптималдуу кукумдөлгөн жана концентрацияланган волластонит пайдалануу менен чапташтыргычтарды аз сарптоочу композициялык материалдардын конкреттуу составы белгилуу даражада чечилген.



## АННОТАЦИЯ

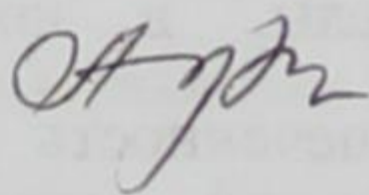
Диссертационная работа посвящена решению актуальной проблемы – использованию и оптимизации волластонитовых наполнителей при создании композиционных строительных материалов с повышенной обеспеченностью прочностных свойств в экстремальных условиях эксплуатации. Обоснована возможность применения полиномиальных экспериментально-статистических моделей ЭВМ для описания влияния рецептурно технологических факторов на вероятностные показатели прочностных свойств композитов. Разработана адгезионно-кластерная теория структурообразования наполненных композиций. Показана возможность экономии связующих за счет применения волластонита оптимальной дисперсности и количества при обеспечении повышенной стойкости в условиях попеременного увлажнения и высушивания. Подтверждена инвариантность влияния многофракционных наполнителей на структурообразование и структурно-реологические характеристики композиционных строительных материалов. Экспериментально-теоретически доказано, что при переходе от средних значений предела прочности на критерии оптимизации и вероятности разрушения при заданном уровне нагрузки происходит значительное изменение вектора оптимальной структуры. Разработана методика оптимизации вероятностных показателей прочностных свойств конструкционных композитов.

Определены для оптимальной дисперсности и количества многофракционного наполнителя пределы, в которых при снижении связующих до 20% повышена обеспеченность прочностных свойств композитов. Разработаны конкретные составы композиционных материалов с пониженным расходом связующих за счет использования волластонита оптимальной дисперсности и концентрации.



## ANNOTATION.

The dissertation work is devoted to the solution of the actual problem-using and optimization of wollastonit fillings during the creation of the compositional construction materials provided with a high security of steady qualities in special cases of exploitation. The case of using the polynomial test-statistical models and IBM is based to describe the influence of recipe-technological factors to the evident parameters of stable qualities of composites. The adhesive-clusteric theory of structure-forming of the filling compositions is worked out. The possibility to economize the optimal dispersion and quantity which are connected on the account of using wollastonit and to provide the high steadiness in condition by damping and drying. The invariant of the influence of multifraction fillings on composition-formation and structure-reological characteristics of the compositional constructional materials is proved. It is also proved test-theoretically that while crossing from middle meanings of the solidity' limit to the criteries of optimization and probability of the destruction and to the considerable change of the vector of optimal structure is occurred with given level of the load. The methodic of obvious parameters optimization of the stable qualities of constructional composites is worked out. The limits for optimal dispersion and quantity of multifraction filling are determined where during the decrease of connected stable qualities of composites, the maintenance is raised till 20%. The concrete structure of compositional materials with lower expense of optimal dispersion and concentration connected on the account of using of wollastonit.





Объем 2.75 печ.л.  
Зак. № 605. Тираж 100 экз.

Отпечатано в тип. ПЛ № 3