

ОДЕССКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

на правах рукописи



АЛЬ-НОХАЛИ Али Салех Абдо

ПОЛИМЕРРАСТВОРЫ ДЛЯ РЕМОНТА И РЕСТАВРАЦИИ  
АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ ЙЕМЕНА

Специальность: 05.23.05 - Строительные материалы и изделия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса, 1993

АВ 28965

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Одесском инженерно-строительном институте

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00814107 (L)

- Научный руководитель - чл.-корр. Инженерной академии Украины, доктор технических наук, профессор ЛИСЕНКО В.А.
- Специальные оппоненты - доктор технических наук, профессор ЧЕРНЯВСКИЙ В.Л.  
кандидат технических наук, доцент ЛЯШЕНКО Т.В.
- Издающая организация - Украинский специальный научно-реставрационный проектный институт "Укрпроектреставрация" (одесский отдел) Министерства по делам строительства и архитектуры Украины

Защита состоится "14" декабря 1993 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д.068.41 в Одесском инженерно-строительном институте по адресу: 270029, г.Одесса, ул.Дидрихсона, д.4., ОИСИ, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Одесского инженерно-строительного института по адресу: 270029, г.Одесса, ул.Дидрихсона, д.4, ОИСИ.

Автореферат разослан "    " ноября 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
канд. техн. наук, доцент *Малахова* Н.А. Малахова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** На территории современного Йемена находится большое количество исторических зданий и сооружений - ценных памятников арабской архитектуры, истории и культуры. Сохранение этих памятников от дальнейшего разрушения является целью ряда международных программ, выполняемых под эгидой ЮНЕСКО. Одной из главных задач реставрационных мероприятий является обеспечение долговечности зданий и сооружений при сохранении их исторической и архитектурной достоверности. Большие объемы реставрационных и консервационных работ, сложный характер повреждений конструкций ставят новые задачи научно-методического и практического характера. Для решения этих задач необходимы специальные технологические приемы и материалы. Композиционные материалы в виде защитно-конструкционных полимеррастворов, как показывает мировой опыт, являются одними из наиболее перспективных материалов для ремонта и реставрации конструкций из камня и бетона. Введение наполнителей позволяет изменять в широком диапазоне технологические и эксплуатационные свойства полимеррастворов. Разработка и внедрение эффективных полимеррастворов на основе использования эпоксидных олигомеров и наполнителей различной природы - актуальная задача при совершенствовании технологии ремонтно-реставрационных работ в условиях Йемена.

**Цель исследования.** Разработка составов реставрационного полимерраствора (ПР) с требуемым комплексом технологических, физико-механических и эксплуатационных свойств при использовании наполнителей различной природы.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи.

1. На основе данных о состоянии архитектурно-исторических зданий и сооружений в Йемене выявить особенности повреждений конструкций и предложить комплекс технологических решений по применению реставрационных полимеррастворов.

2. Определить влияние наполнителей различной природы на технологические и физико-механические свойства ПР.

3. Провести оптимизацию состава полимерраствора по комплексу показателей качества и стабильности свойств при повышенной температуре.

4. Исследовать влияние наполнителей на изменение стойкости полимерраствора при воздействии различных температурно-климатических и эксплуатационных факторов (УФ-облучение, попеременное воздействие температуры и агрессивных водных растворов).

5. Провести технологические и маркетинговые проработки по результатам исследований.

Настоящее исследование выполнено в рамках конкурсной тематики минобразования Украины по комплексному решению проблемы реставрации зданий и сооружений из камня и бетона в 1991-93 гг.

Научная новизна. На основе приоритетного обобщения данных о характере и степени повреждения ценных исторических зданий в Йемене определены особенности применения полимерраствора для ремонта и реставрации. Показаны возможности управления технологическими, физико-механическими и эксплуатационными свойствами реставрационного полимерраствора за счет наполнителей, имеющихся в Йемене. Получен комплекс моделей типа "смесь, технология - свойства", с помощью которых установлены закономерности изменения прямых и обобщающих показателей технологических свойств смесей и механических свойств РПР при изменении вида наполнителей (керамика, кварц, карбонаты, их бинарные и тройные смеси).

Практическое значение работы. Для Йемена впервые в области архитектурного материаловедения предложены методы оптимизации рецептурно-технологических решений, основанные на использовании экспериментально-статистических моделей и ЭВМ.

Для обеспечения комплекса технологических и эксплуатационных свойств полимерраствора и снижения расхода импортируемого полимера рекомендовано использовать оптимальные по количеству и виду наполнители. Для различных технологий реставрационных работ предложены рациональные составы полимерраствора с повышенной стабильностью свойств при изменении температурно-климатических условий. Разработаны серии номограмм для первичного выбора "области" рациональных составов полимерраствора, предусматривающие дальнейшее уточнение применительно к конкретному объекту ремонта и реставрации.

Результаты исследований, выполненные в рамках диссертационной работы, рекомендуются Министерству строительства Йемена и использованы в учебном процессе в ОИСИ.

На защиту выносятся:

- результаты обобщения данных о степени и характере повреждений архитектурно-исторических зданий и сооружений в Йемене и о рациональных технологических мерах по их ремонту и реставрации;
- результаты экспериментальных исследований влияния наполнителей различной природы на технологические и физико-механические свойства реставрационного полимерраствора;

- комплекс моделей, позволивших оценить влияние наполнителей на стабильность свойств полимерраствора при повышенных температурах окружающей среды;

- многокритериальное решение задачи выбора оптимальных составов реставрационного полимерраствора;

- результаты исследований влияния наполнителей на свойства НР при воздействии УФ-облучения и других эксплуатационных факторов

- рекомендации по использованию полимерраствора для ремонта и реставрации архитектурно-исторических зданий и сооружений в условиях Йемена.

Апробация работы. Основные положения диссертации представлены на международных научных конференциях и семинарах по исследованию и реставрации памятников культуры (Москва - 1991г.), по применению композиционных материалов в строительстве (Одесса - 1992г.), по защите и восстановлению зданий и сооружений (Челябинск - 1991г., Самарканд - 1992г.), по структурообразованию композитов, по оптимизации инженерных решений и компьютерному материаловедению (Одесса - 1992-93гг.). По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов (130 стр.м.п. текста) и списка использованной литературы из 146 наименований; содержат 16 стр. приложений, 20 рисунков и 5 таблиц.

Автор признателен к.т.ч. Савченко С.В. за консультации по проведению исследований и анализ результатов с использованием математического аппарата и ЭВМ.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проблема сохранения уникальных памятников имеет для развивающейся Йеменской республики общенациональное значение. С одной стороны - это сохранение для потомков и "раскрытие миру" своеобразности культуры и истории древнего Йемена, с другой - привлечение иностранных туристов и использование средств от туризма для укрепления собственной экономической базы. Многие старинные здания и сооружения в Йемене нуждаются в реставрации. С этой целью, начиная с 1970 г., под эгидой ЮНЕСКО объединены усилия ученых и специалистов ряда стран по реализации, в частности, "Международной программы по защите и сохранению г.Сана".

На первом этапе исследований путем прямого изучения, а также по материалам международных программ и литературным источникам по архитектуре Йемена, автором были рассмотрены причины и проведена классификация основных повреждений каменных зданий и сооружений (мечети, руины древних построек, жилые дома в гг. Сана, Мазбар, Рада и др.). Первым результатом явилась классификация наиболее характерных повреждений, подлежащих ремонту и реставрации, по признакам: нарушение монолитности, расслоение каменных кладок, глубокие и сквозные трещины, отколы, выветривание, вывалы камней и др.

Технологические особенности реставрационных работ для условий Йемена определяются разнообразием повреждений объектов (что требует применения различных реставрационных материалов с изменяемыми технологическими и физико-механическими параметрами), а также климатическими особенностями региона - повышенной температурой днем и резким ее понижением к ночи, сильным воздействием солнца и ветра (что повышает требования к материалам по долговечности). К наиболее важным инженерным задачам (с учетом уровня подготовки инженерных кадров) относятся получение материалов необходимых свойств, экономия дефицитных импортируемых материалов, а также, связанная с этим проблема обоснованности принимаемых решений.

Как показывает мировой опыт, одним из наиболее эффективных способов ремонта, защиты и восстановления строительных конструкций является применение композиционных материалов на основе полимеров. Одной из главных предпосылок эффективного использования полимеррастворов для целей реставрации является дальнейшее развитие научной и практической базы полимерных композитов (В.В.Патуров, В.И.Соломатов, В.Л.Чернявский, В.А.Лисенко, И.Николов, Р.А.Вязеловский, Л.Н.Стреленко, И.М.Елшин и др.).

Одним из перспективных путей повышения качества и долговечности композиционных материалов и экономии связующего, является использование модифицирующих добавок и наполнителей, оптимальных и по концентрации, и по своим физико-механическим параметрам. Применение наполнителей становится особо важным в условиях расширения требований к своим зам ГРП (в том числе, достижения светового и фактурного подобия), регулирования скорости технологического процесса и разнообразия приемов ремонта и реставрации.

По результатам анализа характерных повреждений зданий и сооружений в Йемене, нормативов и рекомендаций в области реставрации исторических памятников предложен возможный комплекс технологичес-

ких решений применения полимеррастворов для ремонта и реставрации конструкций. К возможному комплексу реставрационных работ классифицируемых автором, относятся:

- усиление существующих фундаментов;
- восстановление монолитности конструктивных элементов;
- замена разрушенного материала новым;
- вклеивание выпавших камней и элементов;
- смонеличивание расщелившейся кладки;
- ремонт трещин: заделка трещин декоративным полимерраствором; смонеличивание трещин инъекцией и др.

На основе литературных данных были определены основные требования, предъявляемые к полимеррастворам для ремонта и реставрации. Так, вязкость технологических смесей должна колебаться в широком диапазоне. Его выбор зависит, в первую очередь, от способа введения полимерраствора в каверны, трещины или на открытые поверхности (инъектирование, ручная заделка, обмазка или распыление агрегатами). Как правило, применяются полимеррастворы с прочностью при изгибе не менее 50-80 МПа, при сжатии - 80-100 МПа. К важным параметрам, определяющим работу полимерраствора в конструкции, относятся, частности, прочность сцепления ПР с основным материалом, соотношение модулей упругости и другие показатели. Свойства ПР из-за старения полимера могут необратимо изменяться под воздействием температуры, влажности, ветровых нагрузок, ультрафиолетового облучения и других климатических факторов.

В условиях недостаточной изученности механизма структурообразования и деструкции композитов и многокритериальности принимаемых инженерных решений наиболее эффективным подходом к оптимизации их свойств является применение экспериментально-статистических моделей ЭСМ (В.А. Вознесенский). Имеется значительный опыт применения ЭС-моделей при исследовании и оптимизации композитов различного назначения, в том числе полимеррастворов для защиты, ремонта и реставрации.

На втором этапе с применением комплекса ЭС-моделей были исследованы количественные зависимости основных свойств ПР. Их анализ позволил выбрать рациональные концентрации наполнителей различной природы для гаммы ПР. Выбор конкретных видов наполнителей (кирпичный бой мелкой фракции, отходы известнякового камнепишчя, мелкие пески) был обоснован информацией о материалах, использовавшихся для строительства в Йемене.

В качестве связующего использовалась эпоксидная смола ЭД-20, по своим параметрам близкая к распространенным зарубежным аналогам (*Araldite*, *Epicol*, *Epoxy*); в экспериментах использован отвердитель аминного типа и пластификатор дибutilфталат (ДБФ).

Оптимизация велась с использованием моделей "смесь, технология - свойства". Свойства наполненных эпоксидных полимеррастворов определялись:

$U_i$  - долей наполнителя определенного ( $i$ -го) вида, с фракционным составом соответствующим мелкому кварцевому песку:

$U_1$  - керамический наполнитель;  $U_2$  - карбонатный наполнитель;

$U_3$  - кварцевый наполнитель;  $\sum U_i = U_1 + U_2 + U_3 = 1$ , т.е.

факторы взаимозависимы и образуют "смесь";

$X_1$  - количеством пластификатора ДБФ (мас.ч) -  $X_1 = 30 \pm 10$ ;

$X_2$  - степенью наполнения (мас.ч) -  $X_2 = 200 \pm 100$ ; факторы  $X_1$  и

$X_2$  взаимочезависимы и могут быть отнесены к термину "технология".

Эксперимент реализован по плану, синтезированному в системе ССМРЕХ-83. Были получены модели в виде приведенных полиномов для технологических показателей качества смеси и физико-механических свойств затвердевшего полимерраствора, в том числе, эффективной вязкости, прочности при изгибе и сжатии, динамического модуля упругости.

Эффективную вязкость  $\eta$  (при  $\dot{\epsilon} = 1 \text{ с}^{-1}$ ) определяли на ротационном вискозиметре "Полимер РПЭ-III", который обеспечивал измерение вязкости в диапазоне  $1,6 \times 10^{-3} \dots 3,75 \times 10^4 \text{ Па}\cdot\text{с}$ . Прочность  $R_t$  и  $R_c$  (МПа) определяли на образцах-балочках; одна партия образцов испытывалась через 10 сут. после изготовления, другая - через 60 сут. после хранения при температуре  $T = 30^\circ\text{C}$ . Модуль упругости  $E$  определяли по начальному линейному участку диаграммы "нагрузка - деформация", получаемой при ступенчатом нагружении с максимально возможной средней скоростью, которая обеспечивала снятие отсчетов деформации по двум рычажным тензосметрам, укрепленным на противоположных гранях образца.

Модель эффективной вязкости отображена на диаграмме "треугольника на квадрате" на рис.1. Базовый элемент - смесевой треугольник, на котором показаны изолинии вязкости  $\eta$ . Внутри каждого из девяти треугольников заштрихованы области "сильновязких" ( $\eta_{max} > 900 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ) или "маловязких" ( $\eta_{min} < 50 \text{ Па}\cdot\text{с}$ ) полимеррастворов.

Из анализа диаграммы следуют следующие технологические выводы, необходимые для выбора путей регулирования технологических



свойств смесей:

- для получения технологичных смесей ( $50 \leq \eta_{\text{н}} \leq 900$  Па·с) необходимо, как правило, использовать средние концентрации наполнителя и пластификатора; рабочая область ограничивается "сверху" сильновязкими смесями с керамическим наполнителем, а "снизу" - маловязкими смесями с кварцевым наполнителем;

- максимальная вязкость  $\eta_{\text{max}}$ , достигаемая при варьировании вида наполнителя (смеси практически не растекается), определяется керамическим наполнителем  $V_1$ , что объясняется высокой поверхностной активностью этого наполнителя и, вследствие этого, более полным формированием надмолекулярных структур олигомера;

- увеличение доли кварцевого наполнителя ведет к резкому снижению вязкости; для смесей  $V_1 + V_2$  повышение концентрации карбонатного наполнителя вызывает значительный рост вязкости полимеррастворов (на треугольниках I-III);

- взаимодействие керамического и кварцевого наполнителей дает возможность регулировать в широких пределах реологические свойства полимеррастворов; анализ коэффициентов модели  $\eta$  показывает что наибольший эффект структурообразования достигается при взаимодействии  $V_1$  и  $V_3$ .

Изменение чувствительности вязкости к варьированию вида наполнителя исследовано с помощью обобщенного показателя  $G = \eta_{\text{max}} / \eta_{\text{н}} \cdot \text{мл}$ . Изолинии модели  $G$  на несущем квадрате (рис.1) указывают на резкое увеличение чувствительности системы к колебаниям концентрации и вида наполнителей - керамического и кварцевого.

По результатам эксперимента в 15-ти опытных точках (отмеченных на рис.1) рассчитаны модели для механических свойств, затвердевших композиций. Модели описывали изменение пределов прочности на изгиб  $R_{\text{и}}$ , сжатие  $R_{\text{с}}$  и модуля упругости  $E$  полимеррастворов в зависимости от вида и количества рассматриваемых наполнителей. Во всем диапазоне исследуемых концентраций, с ростом степени наполнения, прочностные показатели увеличиваются для ПИР с керамическим наполнителем; снижаются или не изменяются для ПИР с карбонатным, кварцевым наполнителями и их смесью. Такое различие объясняется неодинаковой скоростью перехода полимера из объемного состояния в пластичное в зависимости от поверхностной активности наполнителя.

Как следовало из анализа изменения вязкости на рис.1, керамический наполнитель обладает наибольшей поверхностной активностью в полимерной матрице, т.к.  $\eta \rightarrow \text{max}$ . Однако, именно он обеспечивает

наибольшую прочность при сжатии. Так, по сравнению с кварцевым, введение керамического наполнителя в РПР ( $X_1=30$ ,  $X_2=200$  мас.ч.) повышает прочность более чем в 1,3 раза, что следует из анализа смесового треугольника на рис.2.а. Его смешивание с кварцевым наполнителем весьма эффективно для увеличения сопротивляемости изгибающим нагрузкам; в частности,  $R_{нmax}$  для таких же составов соответствует бинарной смеси  $V_{I+U_3}$  (53% + 47%).

Модуль упругости уменьшается при увеличении количества пластификатора ДБЭ, в первую очередь, для РПР, содержащих карбонатный наполнитель. Он увеличивается при использовании кварцевого наполнителя. От различия деформативных и упругих свойств основных материалов и полимеррастворов существенно зависит работоспособность РПР. Так, необходимо учитывать, что при  $E \rightarrow min$ , полимеррастворы проявляют пластические свойства, необходимые для снижения внутренних напряжений. Такие напряжения возникают, например, при различии температурных коэффициентов линейного расширения полимерраствора и материала конструкции (бетона, камня). Повышение жесткости ( $E \rightarrow max$ ) уменьшает разницу между модулем упругости материалов, что способствует снижению концентрации напряжений в контактной зоне "полимер - основной материал".

Дополнительные исследования позволили выяснить зависимость между рецептурой и кинетикой развития внутренних напряжений<sup>ж)</sup>. Исследования выполнялись на специальном измерительном комплексе, позволяющем проводить измерение одновременно на 24 образцах с фиксацией деформаций микроскопом МИ-2 ("консольный метод").

В частности, установлено, что независимо от состава и структуры полимерраствора первые 4-6 суток с момента приготовления характеризуются резким нарастанием напряжений. В последующие 6-10 суток наблюдается относительная стабилизация напряжений, после чего для различных составов величина внутренних напряжений снижается на 10-50%. В возрасте полимерраствора более 25 суток уровень напряжений остается практически неизменным, что свидетельствует о завершении процесса структурообразования полимерраствора. Составы, в которых в качестве наполнителя использовался кварцевый песок, характеризуются меньшей величиной внутренних напряжений, чем составы с другими наполнителями.

Свойства реставрационных полимеррастворов должны отвечать необходимому комплексу требований (см. стр.7). Читывался тот ф.г, и) Исследования выполнялись при участии доц. А.И. Буренина

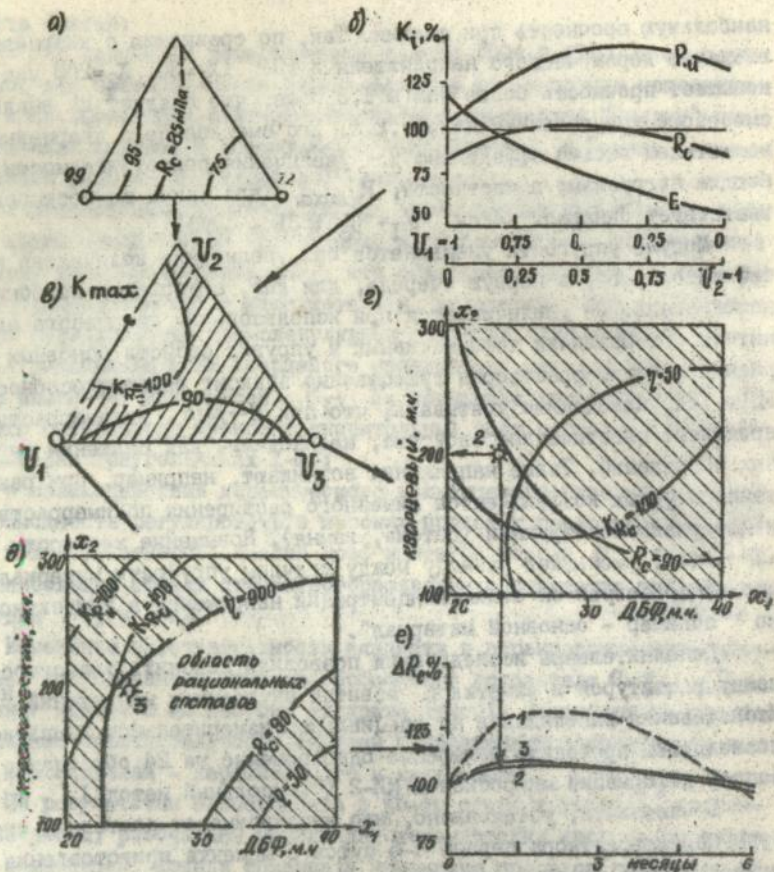


Рис. 2. Комплексный анализ влияния наполнителей на свойства ПИР:  
 а) прочность при сжатии  $R_c$  на смешиваемой диаграмме;  
 б) коэффициент стабильности свойств "К" при переходе от керамического ( $U_1$ ) к карбонатному ( $U_2$ ) наполнителю;  
 в) коэффициент стабильности  $R_c$  для наполнителей  $U_1, U_2, U_3$ ;  
 г) в оптимальной области ПИР с кварцевым наполнителем;  
 л) в оптимальной области ПИР с керамическим наполнителем;  
 е) относительные изменения  $R_c$  при  $UV$ -облучении (1 - ненаполненный ПИР, 2 - кварцевый, 3 - керамический наполнитель).

что свойства ПИР при эксплуатации могут необратимо изменяться, и это будет отражаться на долговечности конструкций. К наиболее существенным для Йемена внешним воздействиям относится повышенная температура среды. Под влиянием температуры происходят необратимые физико-химические превращения, приводящие к снижению эксплуатационных показателей материала.

Для оценки устойчивости свойств ПИР к воздействию температуры проведен сравнительный анализ полимеррастворов исходного состояния ( $P_0$ ) и после выдержки в течение 60 сут при температуре  $T=80^\circ\text{C}$  ( $P_T$ ). Показатель "стабильности" определялся как:  $K = P_T / P_0 \cdot 100\%$ .

На рис. 2.6 показано изменение коэффициента  $K$  для полимеррастворов, содержащих керамический и карбонатный наполнители, а также их смеси. Наибольшие изменения свойств ПИР при воздействии температуры произошли для тех составов, в которых использовался карбонатный наполнитель. Анализ изолиний показателя  $K$  на смешанном треугольнике (рис. 2.в) позволил сделать вывод об эффективности смешивания керамического и карбонатного наполнителей для повышения стабильности прочности при сжатии  $R_c$  полимерраствора при длительном воздействии температуры. В незаштрихованной области ( $K \geq 100\%$ ) полимеррастворы характеризуются стабильной прочностью.

Совместный анализ моделей показателей "стабильности"  $R_c$ ,  $R_t$  и  $E$  позволил определить составы полимеррастворов, сохраняющих требуемый уровень качества при воздействии температуры. Показана целесообразность смешивания наполнителей, в первую очередь, керамического и карбонатного, для повышения стабильности свойств ПИР.

С целью выбора оптимальных составов (рис. 2.г, д) на общих диаграммах были совмещены изолинии "желательной" вязкости, прочности и изолинии-границы стабильности прочностных показателей, в частности, для полимерраствора на кварцевом (рис. 2.г) и керамическом (рис. 2.д) наполнителях. В области рациональных составов полимеррастворы отвечают следующим требованиям:

технологические смеси - вязкость 50...900 Па·с;

отвержденные композиты

$$\left\{ \begin{array}{l} R_c = 60 \dots 80 \text{ МПа,} \\ R_t = 80 \dots 100 \text{ МПа,} \\ E = 1,3 \dots 1,6 \text{ ГПа,} \\ K \geq 100 \%. \end{array} \right.$$

Экономия полимерного связующего за счет одновременного введения двух наполнителей при сохранении заданного качества и снижении воздействия на показатели температуры достигается при увеличении

количества кварцевого наполнителя от 150 до 300 мас.ч. (рис.2.г) или керамического - от 100 до 280 мас.ч. (рис.2.д). Более узкий диапазон изменения дозировки кварцевого наполнителя и пластификатора (20...25 мас.ч.) повышает требования к дозированию материалов. Характерные диапазоны изменения состава ПР показаны в табл.1.

Таблица 1. Диапазоны изменения рациональных составов ПР

Вид наполнителя (равные доли в смеси)	Вязкость смеси	Содержание, мас.ч.	
		наполнителя	пластификатора
карбонатный	средняя	200...300	23...25
керамический+карбонатный	повышенная	100...270	30...40
карбонатный+кварцевый	пониженная	150...250	20...25
керамический+кварцевый	средняя	100...230	20...25

В результате проведенного анализа разработаны номограммы для первичного обоснования рецептур реставрационных полимеррастворов с комплексным наполнением, ориентированные на дальнейшее уточнение применительно к конкретным объектам в Йемене.

К наиболее существенным факторам, вызывающим деградацию ПР в условиях Йемена, помимо повышенной температуры, было отнесено воздействие солнечной радиации (для открытых поверхностей), а также попеременное воздействие температуры и агрессивных водных растворов (в том числе, для цоколей зданий, фундаментов и др.).

Экспериментальные исследования по оценке влияния наполнителей на стойкость полимеррастворов рационального состава (см.рис.2.г,д) проводились: а) при воздействии УФ-облучения в течение 6 мес.; б) при увлажнении в водном растворе (концентрация сульфат-ионов - 20 г/л) и высушивании под струей горячего воздуха в течение 300 циклов. Для имитации солнечной радиации использовался облучательный стенд агрофизического института с кварцевыми и люминесцентными лампами накаливания, обеспечивающий уровень облученности образцов до 160 Вт/м<sup>2</sup>.

Как показали проведенные исследования, под воздействием УФ-облучения полимеррастворы подвергаются практически таким же изменениям, как и под действием многократно повторяющихся температурно-влажностных нагрузок. Снижение показателей объясняется весьма существенной ролью термо- и фотоокислительных процессов в изменении надмолекулярных и химических структур полимера. После некоторого увеличения в начальный период экспозиции прочность на изгиб ненапо-

ленного полимерраствора в дальнейшем резко снижается (кривы 1, рис.2.е). Кратковременный процесс "всплеска" прочности был объяснен продолжающимися процессами отвержения связующего под действием температуры. Быстрое снижение прочности может быть вызвано окислительным распадом полимерного связующего и старением полимера. Введение в полимерраствор керамического (кривая 2) и кварцевого (кривая 3) наполнителя способствует сохранению прочности при воздействии УФ-облучения.

Одновременно исследовалась светостойкость испытуемых образцов (ГОСТ 9.045-85). Наиболее заметны изменения цвета и блеска после УФ-облучения происходили у образцов, содержащих карбонатный наполнитель, в меньшей степени - керамический и кварцевый. Образцы с карбонатным наполнителем быстро теряют внешний вид; на поверхности, наряду с мелением, появляются "паутинки", что связано с интенсивным разрушением полимерных связей в тонком поверхностном слое.

Использование исследованных наполнителей позволяет стабилизировать свойства полимеррастворов в условиях комбинированного воздействия температуры и жидкой агрессивной среды. Так, испытания показали, что введение карбонатного наполнителя стабилизирует E в большей степени, чем керамический. Процесс изменения свойств также имеет экстремальный характер. Появление экстремума зависит от вида наполнителя. Отмеченное в начальный период экспозиции некоторое увеличение прочности полимеррастворов объясняется временной релаксацией и более равномерным распределением в объеме материала внутренних напряжений.

В заключение автор выделяет перспективные пути использования результатов диссертационной работы. К одному из них относится использование в своей дальнейшей деятельности новых методов исследования композиционных материалов, в том числе с применением ЭС-моделей и ЭВМ. Это несомненно, будет полезным с точки зрения научной и инженерной подготовки специалистов в Йемене.

К практическим результатам относятся так же разработанные рекомендации по ремонту и реставрации архитектурно-исторических зданий и сооружений в условиях Йемена. Результаты рекомендуются для использования по линии Министерства строительства Йемена. Выпущены маркетинговые проработки по ряду архитектурных памятников в г.Сана и определена (в дол.) ориентировочная стоимость реставрационных работ. Подчеркнута необходимость сохранения своеобразной "ценности старины" при проведении этих работ.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основе данных о состоянии ряда архитектурных и исторических зданий и сооружений в городах Йемена определены причины и характерные особенности повреждений и рассмотрен возможный комплекс типовых технологических решений по применению полимерраствора для ремонта и реставрации поврежденных конструкций.

2. Впервые для научно-исследовательской и инженерной практики в Йемене предложен новый подход к принятию оптимальных рецептурно-технологических решений в области реставрационных материалов, основанный на использовании экспериментально-статистического моделирования и ЭВМ. Разработаны серии регулировочных номограмм, ориентированные на дальнейшее уточнение рациональных составов реставрационных полимеррастворов применительно к конкретному объекту ремонта и реставрации в условиях Йемена.

3. С использованием экспериментально-статистических моделей определено влияние наполнителей различной природы на комплекс технологических и физико-механических свойств реставрационного полимерраствора; показана возможность управления свойствами ПРП за счет применения наполнителей различной природы.

4. Для обеспечения комплекса технологических и эксплуатационных свойств ПРП и снижения расхода импортируемого полимера рекомендовано использовать имеющиеся в Йемене природные наполнители (керамические, карбонатные, кварцевые и их смеси). Для реставрационных работ предложены рациональные составы технологических полимеррастворов, в частности, прочностью на сжатие 80-100 МПа и изгиб - 60-80 МПа при минимальных внутренних напряжениях, с повышенной стабильностью механических свойств при воздействии высокой температуры окружающей среды.

5. Показано положительное влияние рациональных наполнителей на стойкость полимерраствора к воздействию температурно-климатических факторов, в том числе УФ-облучения, попеременного воздействия температуры и агрессивных водных растворов.

6. Разработаны технологические рекомендации по применению полимеррастворов для проведения ремонта и реставрации, в том числе с использованием наполнителей. Результаты исследований рекомендованы для реализации в Йемене, в том числе в рамках международных программ по реставрации памятников истории, культуры и архитектуры.

Основные положения диссертации изложены в семи печатных работах:

1. Лисенко В.А., Аль-Кохали А. Надежность реставрации каменных конструкций, работающих в условиях жаркого климата // Исследование и реставрация памятников культуры из камня. Тез. докл. Всесоюз. конф. - Москва, 1991. - С.28.

2. Лисенко В.А., Аль-Кохали А. Атмосферостойкие полимерные композиции для ремонта и восстановления архитектурных памятников // Новые материалы для ремонтно-восстановительных работ и реставрации памятников архитектуры: Тез. докл. респ. семинара. - Самарканд, 1992. - С.5-7.

3. Савченко С.В., Аль-Кохали А. Экспериментально-статистическое моделирование свойств полимерсодержащих композитов для ремонтно-восстановительных работ // Повышение долговечности и эффективности работы конструкций зданий и сооружений: Тез. докл. междунар. конф. - Челябинск, 1992. - С.115-116.

4. Лисенко В.А., Буренин А.И., Аль-Кохали А. Композиционные материалы на основе лигносодержащих полимеров, применяемые для реставрации зданий и сооружений // Древесина и композиционные материалы в строительстве: Тез. докл. респ. конф. - Одесса, 1992. - С.29-30

5. Аль-Кохали А., Лисенко В.А., Савченко С.В. Оптимизация реологических свойств наполненных композитов с использованием экспериментально-статистических моделей // Компьютерный поиск оптимальных модификаторов качества композитов: Тез. докл. респ. семинара. - Одесса, 1992. - С.14.

6. Лисенко В.А., Буренин А.И., Аль-Кохали А. Реставрационные полимеррастворы (модели описания уровней структуры) // Экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация в компьютерном материаловедении. Тез. докл. междунар. семинара. - Одесса, 1993. - С.42-43.

7. Аль-Кохали А., Савченко С.В., Пучол Э. Оптимизация рецептов полимерсодержащих композитов для ремонтно-восстановительных работ // Экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация в компьютерном материаловедении: Тез. докл. междунар. семинара. - Одесса, 1993. - С.47.

Подп. к печати 10. II. 93г. Формат 60x84 1/16.  
Об'ем 0,7уч. изд. л. 1,0 г. л. Заказ № 1964. Тираж 100 экз.  
Гортипография Одесского управления по печати, цех №3.  
Ленина 49.

464607

AB28965

**AB 28.965**