НИЛЭП ОИСИ

Рекомендации

по применению новых типов защитно-конструкционных полимеррастворов для реставрации и консервации памятников и исторических зданий из камня и бетона

Москва 1982

gost.e-ecolog.ru

Научно-исследовательская и проектная
лаборатория экспериментального проектирования
жилых и общественных зданий Одесского
инженерно-строительного института
(НИЛЭП ОИСИ)

Рекомендации по применению новых типов защитно-конструкционных полимеррастворов для реставрации и консервации памятников и исторических зданий из камня и бетона

СТРОЙИЗДАТ
МОСКВА 1982

УДК 72.025.4/691.32/620.197

Рекомендованы к изданию научно-техническим советом НИЛЭП ОИСИ.

Рекомендации по применению новых типов защитно-конструкционных полимеррастворов для реставрации и консервации памятников и исторических зданий из камня и бетона/НИЛЭП ОИСИ. – М.: Стройиздат, 1982. – 96 с.

Классифицированы характерные виды повреждений памятников архитектуры, приведены особенности реставрируемых конструкций, а также сведения по долговечности и надежности применяемых полимеррастворов. Даны рекомендации по выбору защитно-конструкционного полимеррастворa, приготовлению рабочих составов, методам подготовки строительной конструкции, осуществлению технологического процесса и контролю качества работы.

Указаны основные правила по технике безопасности и дана технико-экономическая оценка реставрационных работ при помощи полимеррастворов.

Рекомендации разработаны по заказу Госгражданстроя в научно-исследовательской и проектной лаборатории экспериментального проектирования жилых и общественных зданий и лаборатории полимерных материалов в строительстве Одесского инженерно-строительного института Минвуза УССР (канд.техн.наук В.А. Лисенко, инженеры А.И.Буренин, В.И.Мосяк).

Научные руководители – заслуженный деятель науки, д-р искусствоведения, проф. М.К.Гараканидзе, канд.техн. наук В.А.Лисенко.

Для архитекторов-реставраторов и искусствоведов.

Табл., ил.

Р 4902020000 – 216.
047 (01) – 82 Инструкт.-нормат., 1 вып. – 84-81.

© Стройиздат, 1982

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение памятников истории и культуры – основная задача инженерной консервации и реставрации. Этим проблемам начиная с первых месяцев существования нашего государства уделяется огромное внимание. Ленинское указание о сохранении культурного наследия нашло наиболее полное воплощение в утвержденном Верховным Советом СССР в 1976 г. Законе об охране и использовании памятников истории и культуры и в принятой в 1977 г. новой Конституции СССР.

Возрастающий объем консервационных и реставрационных работ, многообразие агрессивных воздействий, степень износа конструкций выдвигает сложные задачи научно-методического и практического характера, поиска прогрессивных технологических приемов, новых строительных материалов.

Настоящие Рекомендации направлены на решение этих задач при помощи новых типов защитно-конструкционных полимеррастворов.

В Руководстве использованы материалы: Всесоюзного производственного научно-реставрационного комбината Министерства культуры СССР, "Росреставрации", Украинского специального научно-реставрационного производственного управления, Главного научно-производственного управления по использованию и охране памятников истории, архитектуры и природы Грузинской ССР, Управления по охране и использованию памятников истории и культуры при Совете Министров Армянской ССР, а также результаты исследований отдела полимерных материалов НИС "Гидропроект" (канд.техн.наук Л.А.Игонин), лаборатории конструкций из новых материалов ТбилЗНИИЭП (канд. техн.наук Э.П. Александрян, инж. Э.К. Мурадян), Укрниипластмасс (инженеры С.А. Ярошевский, Т.С. Бабич).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации разработаны в соответствии с основными нормативными документами (сборник "Охрана памятников истории и культуры". М., "Советская Россия", 1973) по индексам 3.1–3.6 и 3.8 "Списка индексов типологической принадлежности памятников культуры СССР" (приказ министра культуры СССР №153 от 27 марта 1972).

Они уточняют и развивают разделы, касающиеся реставрации и консервации объектов из камня и бетона при помощи полимерных материалов.

1.2. Рекомендации распространяются на выполнение работ по реставрации и консервации зданий из камня и бетона, находящихся в условиях силовых и агрессивных воздействий во II и III климатических районах, а также в IУБ, IУВ, IУГ подрайонах (СНиП II-А.6–72).

1.3. Рекомендации надлежит использовать при составлении проекта реставрации, непосредственного осуществления реставрационных работ, оценке вида повреждения и разрушения объекта, свойств полимерных материалов, используемых для реставрации и защиты, способов их приготовления, применения и контроля качества выполнения работ.

1.4. Рекомендации не распространяются на климатические районы, не указанные в п.1.2., а также не могут служить для защитно-декоративных мероприятий, связанных с покрытием значительных поверхностей строительной конструкции с одновременным обеспечением идентичности цвета покрытия, его фактуры и т.п.

1.5. При выполнении работ по консервации и реставрации памятников истории и культуры, помимо настоящих Рекомендаций, следует руководствоваться действующими нормативными документами, освещающими основные принципы проведения подобных работ.

2. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПАМЯТНИКОВ И ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ ИЗ КАМНЯ И БЕТОНА

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕСТАВРАЦИИ

2.1. Процесс реставрации состоит из следующих основных видов работ:

описание и исследование памятника архитектуры, его художественных и конструктивных особенностей, исторических данных, подробное описание повреждений;

разработка детального технического проекта реставрации;

проведение непосредственно реставрационных работ;

наблюдение и контроль за работами и составление соответствующей документации.

2.2. Следует различать следующие приемы реставрации:

консервация памятника архитектуры — техническое мероприятие, предусматривающее повышение статической устойчивости и защиту памятника от внешних воздействий;

ремонтно-реставрационные работы, связанные с выявлением и восстановлением памятника архитектуры в его первозданном виде;

раскрытие памятника архитектуры от позднейших наслоений — переходная стадия к его реконструкции. При этом необходимо учитывать конструктивную нагрузку и художественную ценность частей и элементов, добавленных к памятнику в процессе его существования;

реконструкция — придание памятникам архитектуры целостной формы путем добавления частей и элементов, которых им недостает;

восстановление и приспособление памятников архитектуры — реставрационные работы, при которых необходимо построить вновь обрушившееся сооружение, от которого остались только развалины, либо расширить какое-либо существующее здание.

2.3. Реставрационные работы должны проводиться на основании полной проектной документации. Разработку проектной документации следует проводить в следующей последовательности:

составление предварительной документации и реставрационного задания;

разработка эскизного проекта реставрации;

разработка проекта реставрации с рабочими чертежами.

2.4. Предварительная документация должна включать в себя исходные данные, дающие четкое представление о состоянии памятника или сооружения и намечаемые работы. В состав ее должны входить:

краткая историческая справка, излагающая основные сведения о реставрируемом сооружении;

описание технического состояния сооружения с подробной фотофиксацией;

тематический план предстоящих научно-исследовательских восстановительно-реставрационных работ с указанием очередности и сроками их выполнения;

технико-экономическое обоснование.

2.5. При разработке эскизного проекта реставрации сооружения представляются конкретные предложения по реставрации памятника архитектуры, выраженные в виде проектных чертежей с определением потребного количества материалов.

В состав чертежей эскизного проекта необходимо включить: ситуационный план местности (М 1:2000), генеральный план участка (М 1:500), планы этажей (М 1:100), основные разрезы (М 1:100, 1:50), все неповторяющиеся фасады, фрагменты, детали и узлы.

2.6. Пояснительная записка должна включать сведения о реставрируемом здании, а также материалы исследования, которыми обосновывается предлагаемый проект реставрации памятника архитектуры.

2.7. Завершающей стадией работ по составлению проектной документации является разработка проекта реставрации с рабочими чертежами, в состав которого должны входить:

графическая часть, включающая чертежи всех фасадов, планов, основных разрезов;

пояснительная записка;

отдельные фрагменты и детали здания;

дополнительные обмерные чертежи, замеры новых шурфов и вскрытий с обозначением видов и типов повреждений инженерных конструкций;

рабочие чертежи на отдельные конструкции с фиксацией трещин, сколов, пустот и т.п., детали узлов;

проекты инженерных коммуникаций;

опись работ и смета с выборкой материала.

2.8. Научное исследование исторических зданий и сооружений, необходимое для обоснования проведения реставрационных работ, следует проводить по двум направлениям:

выявление и изучение исторических, письменных и графических документов;

натурное исследование реставрируемых объектов.

2.9. Изучение историческо-литературного материала должно охватывать различные источники информации (летописи, мемуары, специальные научные труды, путеводители, справочники), а также глубокий анализ неопубликованных графических документов (чертежей, гравюр, зарисовок, фотографий и др.).

2.10. Натурное исследование объектов, подлежащих реставрации, рекомендуется проводить в три этапа:

первичное предварительное исследование здания или сооружения;

фиксация исследуемого объекта (обмеры, зарисовки, фотографии, фотограмметрия и т.д.);

проведение зондажей, раскрытий, археологических раскопок.

2.11. При исследовании необходимо составлять дефектную ведомость, в которую на основании обследования здания заносятся данные о техническом состоянии отдельных элементов и конструкций с указанием перечня работ по каждому из них в процессе восстановительно-реставрационных работ.

В дефектную ведомость необходимо включать сведения о характере деформаций конструкций с указанием их вида, направления, типа, размера и т.п. При этом следует проводить фотофиксацию выявленных дефектов, составлять схему и чертежи их расположения.

Фиксацию объектов следует производить путем их изображения на рисунках, детального фотографирования, снятия прорисей с отдельных элементов и обмеров с последующим изготовлением по ним чертежей.

2.12. При проведении археологического исследования здания следует различать следующие этапы:

зондаж — этап раскрытия памятника, носящий локальный характер. Может использоваться на стенах, сваях, столбах, перекрытиях, где требуется подтверждение решения общего или частного вопроса реставрации;

раскрытие памятника — более полное раскрытие памятника архитектуры, служащее для выявления конструкций перекрытий, столбов, сводов; структуры и техники их кладки, связей здания, заложенных в стене и т.д.;

шурфы и раскопки — этап выявления характера отдельных частей и элементов, находящихся под землей, о существовании которых можно предполагать.

2.13. При проведении реставрационных работ особое значение приобретает правильное разрешение инженерных вопросов. Все восстановительно-реставрационные работы связаны с укреплением конструкций реставрируемых сооружений.

2.14. К инженерным конструкциям относятся главные конструктивные элементы сооружения: фундаменты, стены, столбы (колонны), сводчатые и плоские перекрытия, арки, барабаны, главы культовых сооружений, шатры над башнями и т.д. Перечисленные выше элементы являются несущими, так как они воспринимают нагрузки от собственного веса, веса других частей зданий и временные нагрузки и обеспечивают устойчивость всего здания или сооружения, а это в свою очередь требует соответствующих расчетов.

2.15. Вопросы восстановления инженерных конструкций необходимо рассматривать по двум основным категориям работ:

укрепление оснований и фундаментов;

укрепление надземных частей сооружений.

2.16. При исследовании прочностных характеристик конструкций зданий и сооружений целесообразно применять неразрушающие методы контроля качества строительных материалов и конструкций, что позволяет производить измерения без каких-либо необратимых воздействий на материал.

2.17. Существующие и применяемые в настоящее время при обследовании зданий и сооружений приборы позволяют оценивать: прочность, деформативность, трещиностойкость, скрытые дефекты, а также физические параметры (влажность, температуру, плотность и т.п.).

2.18. При определении прочности материалов используют две группы приборов, которые позволяют исследовать реставрируемые конструкции двумя следующими методами:

методом прозвучивания: используются физические процессы при прохождении ультразвука или ударной волны через материал от источника излучения к приемнику (ГОСТ 17624–78);

методом механических воздействий: используются косвенные характеристики прочности материала при воздействии на поверхностный слой конструкции. Воздействиями могут быть – вдавливание корпуса шарика или отскока бойка от поверхности, выдергивание заделанных реперов (ГОСТ 21243–75, ГОСТ 22690.0–77).

2.19. В связи с необходимостью оценки прочности материала с погрешностью менее 15% (ГОСТ 21217–75) необходимо применять комплексный метод с использованием приборов ультразвукового и ударного принципа действия.

2.20. Техническая характеристика наиболее распространенных отечественных ультразвуковых приборов, используемых при определении дефектов в элементах и конструкциях (скрытых трещин, раковин, каверн):

	УКБ-1М	УК-10П
Диапазон измерения времени распространения колебаний, мкс	0–5500	20–999
Прозвучиваемая толщина, м	0,1–5	До 1,5
Частота повторения импульсов, Гц	70	7
Отсчет времени распространения колебаний	По лимбу	По цифровому индикатору
Погрешность измерения времени	±1% при 1000 мкс	±1% при 1000 мкс
Габаритные размеры, мм	470х325х215	220х190х110
Масса прибора, кг	15	3,5

2.21. Фазометры АФ-1 и АФ-2 предназначены для изучения физико-механических свойств кирпичной кладки или крупнога-

баритных конструкций. Принцип действия прибора основан на регистрации низкочастотных (1 и 5 Гц) акустических импульсов.

2.22. Приборы механического принципа действия подразделяются на две группы: приборы, работающие на принципе заглубления в материал бойка и получения отпечатка (молоток Физделя, молоток Кашкарова, прибор ПМ и др.), и приборы, действующие по принципу упругого отскока бойка от поверхности материала (пистолет ЦНИИСК).

Оценка поверхностной прочности материалов с помощью указанных приборов производится в соответствии с ГОСТ 10180–78, ГОСТ 22690.1–77, ГОСТ 22690.2–77.

2.23. Для определения геометрических параметров строительных конструкций (прогибы, перекосы, смещение строительных конструкций) необходимо применять нивелиры (теодолиты) с оптической насадкой; прогибомеры – гидравлический и механический, лазерный теодолит ЛТ-75, рычажный тензометр.

2.24. При регистрации статических деформаций элементов и строительных конструкций рекомендуется применять тензостанции с усилителем. Характеристика усилителя ПСД приведена ниже:

Диапазон измеряемых деформаций отн.ед.	$1x10^{-5}$ – $1x10^{-2}$
Сопротивление тензорезистора, ом	50–500
Напряжение питания моста, В	3
Погрешность измерения	1 деление
Габаритные размеры, мм	220x180x100
Масса, кг	27

Характеристики рычажного тензометра ТР, который предназначен для измерения малых деформаций строительных деталей и конструкций:

Цена одного деления, мк	1±0,1
Степень увеличения	1000
Точность показания, мк	±1,00
База, мм	20±0,5
Габаритные размеры, мм	60x160x18
Масса, г	75

Тензометры Аистова ТА-2 и ТА-3 предназначены для регистрации деформации конструкции в широких пределах и обладают повышенной надежностью при измерениях.

Для измерения кривизны поверхности применяют измеритель кривизны, который позволяет проводить измерения с точностью ±0,1 мм.

2.25. При выявлении несущей способности конструкций в зданиях и сооружениях, на которые не имеется технической документации, а также при потере несущей способности каменных и железобетонных конструкций или появлении пятен ржавчины на поверхности элементов и конструкций используются приборы:

измеритель сечения металла (ИСМ), измеритель защитного слоя (ИЗС-2), измеритель защитного слоя с автоматической регистрацией (ИЗС-АР), прибор Г.И.Кравцова для измерения диаметра арматуры, металлоискатель (МИ-1), прибор с постоянным магнитом. Работа этих приборов основана на взаимодействии металла с электромагнитным полем.

2.26. При обследовании конструкций применяют два метода ультразвуковой дефектоскопии: теневой и эхометод. Ультразвуковая дефектоскопия позволяет выявить любой скрытый дефект при условии, что размер дефекта не менее 0,005 длины волны колебания ультразвука.

Указанные работы можно также производить, используя приборы для регистрации акустической эмиссии (Р-1 и РМ-1), переносной бетатрон ПМБ-6 со следующими характеристиками:

Максимальная толщина каменной или бетонной конструкции, м	0,8
Максимальная энергия, мэВ	5
Частота повторения циклов, Гц	50
Потребляемая мощность, кВт	1
Габаритные размеры электромагнита, мм	280x280x190
Масса электромагнита, кг	26

2.27. Приборы для определения физических параметров строительных материалов позволяют определять:

влажность строительных элементов и конструкций (нейтронный влагомер ЛНИИ АКХ);

температуру на поверхности конструкций (термощуп);

амплитуду вибрации конструкций сооружений (амплитудомер);

частоту, амплитуду и форму колебаний (виброграф ВР-1 предназначен для записи на виброграмме механических колебаний строительных конструкций);

плотность материала ограждающих конструкций (плотномер РПП-1).

2.28. Для обеспечения полной и объективной картины состояния реставрируемого объекта рекомендуется использовать инвентарные лаборатории-станции, которые обеспечивают комплексную оценку технического состояния памятника, здания, сооружения.

В комплект лаборатории-станции входят приборы, позволяющие измерять следующие параметры:

размеры геометрических отклонений строительных конструкций от исходных расчетных положений;

наличие, местоположение и сечение металлических конструкций и арматуры;

прочность материала строительных конструкций;

наличие пустот, раковин, скрытых трещин и т.д.;

деформацию конструкций от дополнительной нагрузки;
величину раскрытия трещин;
воздухопроницаемость стыков;
тепловлажностный режим помещений;
степень солнечной радиации и освещенности помещения;
направление и скорость ветра, скорость воздушного потока;
уровень и частотную характеристику шума.

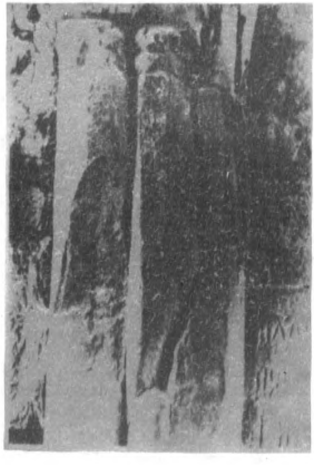
3. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ КАМНЯ И БЕТОНА

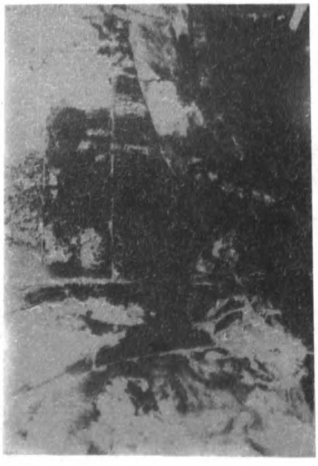
ДЕФЕКТЫ КАМЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

3.1. При обследовании зданий и сооружений с целью выявления причин повреждений строительных конструкций важную роль играют проектные материалы обследуемого здания, знание схемы несущего остова, другие архивные материалы (данные предыдущих обследований и т.п.).

3.2. Анализ видов повреждений отдельных элементов, а также причин их происхождения позволил выделить следующие виды повреждений: расслаивание, трещиноватость, морщинистость, осыпание, неравномерность передачи усилий с одного элемента на другой, откол кромок, смещение плит и массивов, ямчатость, которые вызывают снижение несущей способности каменных, бетонных конструкций (рис.1, 2, 3, 4).

а) *б)*





в)



г)

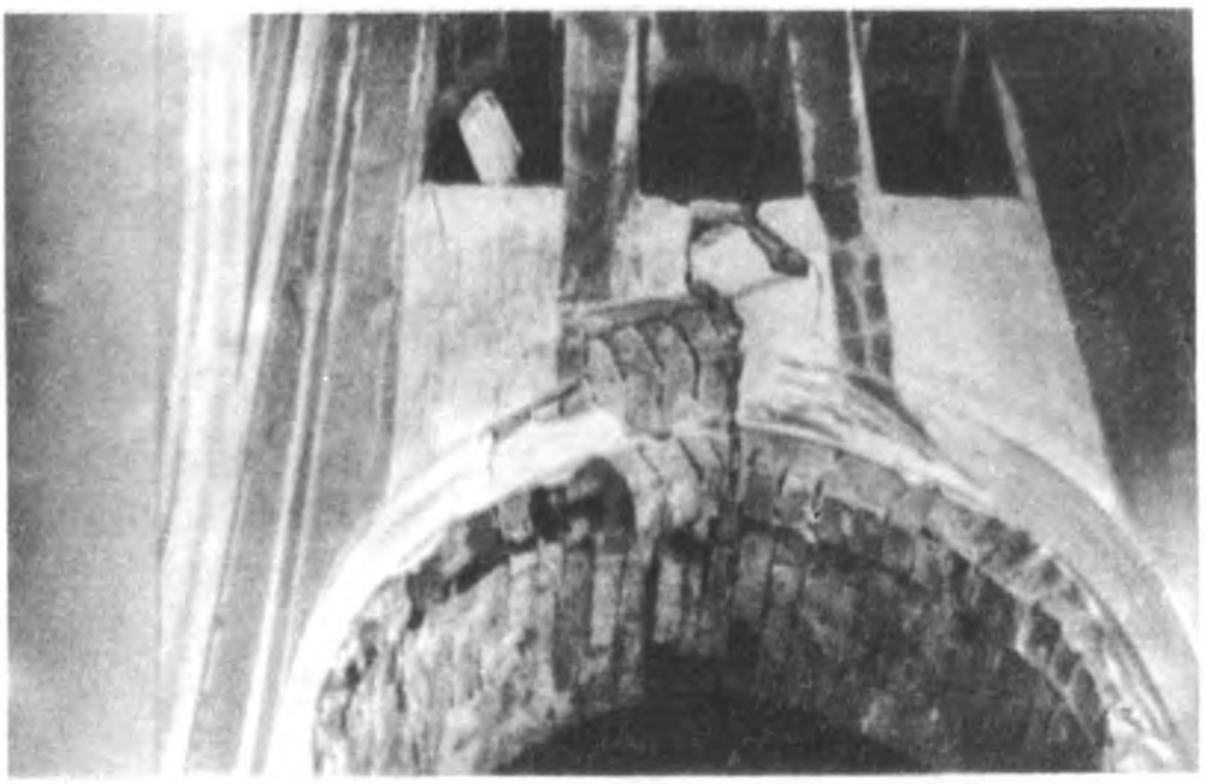




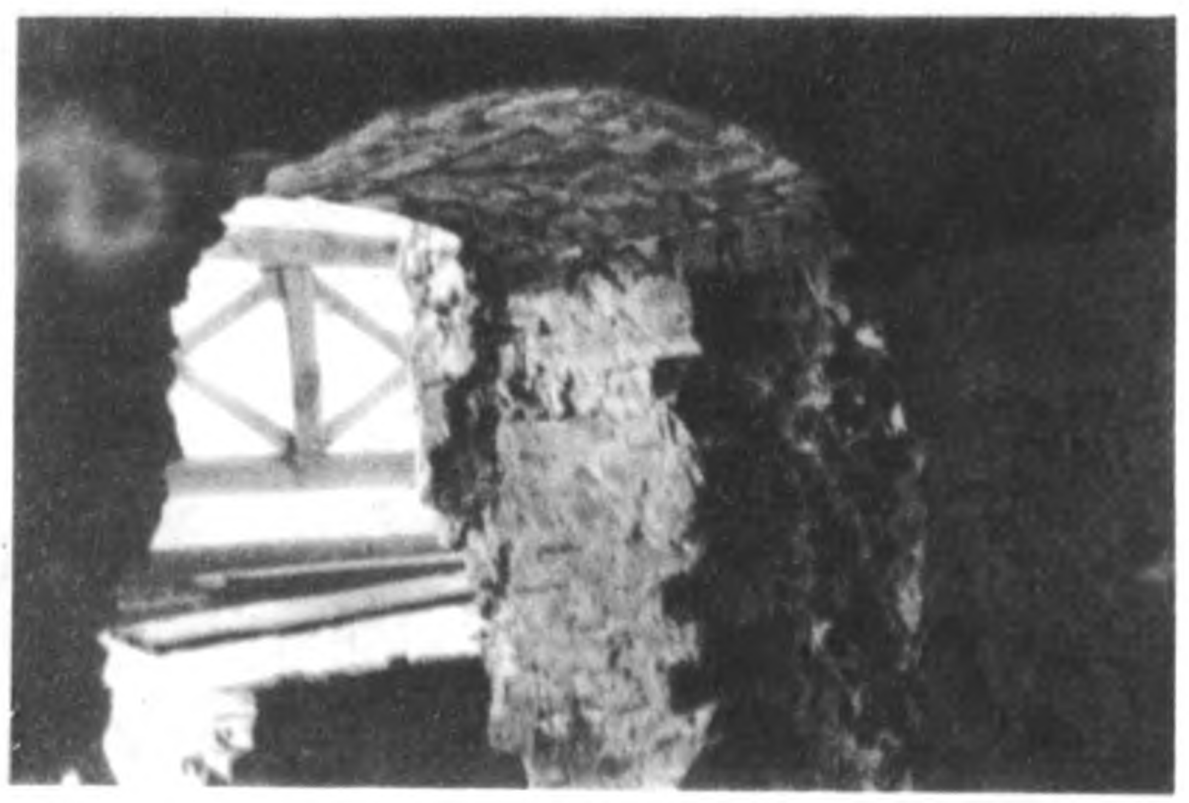
Рис. 1. Трещины в центрально и внецентренно нагруженных и сдвигаемых элементах

а – продольные вертикальные трещины по камню; *б* – косые трещины среза по камню; *в* – продольная трещина по швам, трещина разрыва кладки (в верхней части), отслаивание; *г* – отслоение и обрушение наружной версты; *д* – выпучивание наружной версты, отслоение облицовки

а)



б)



в)



г)



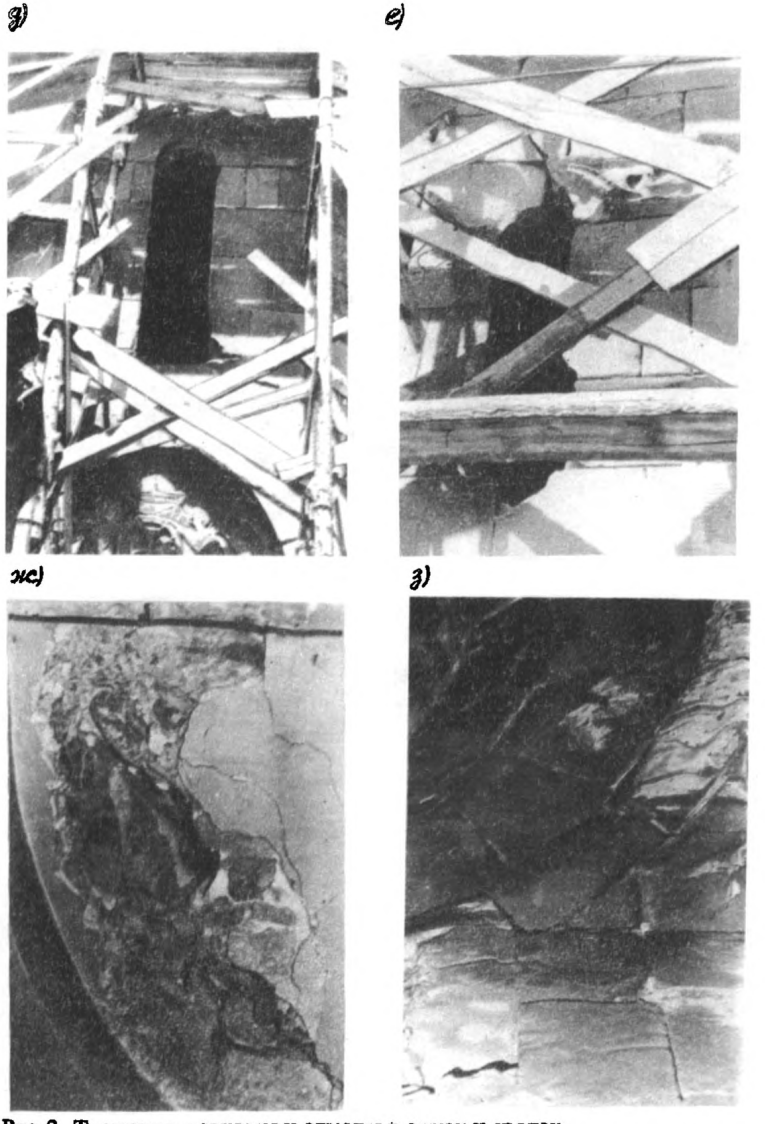
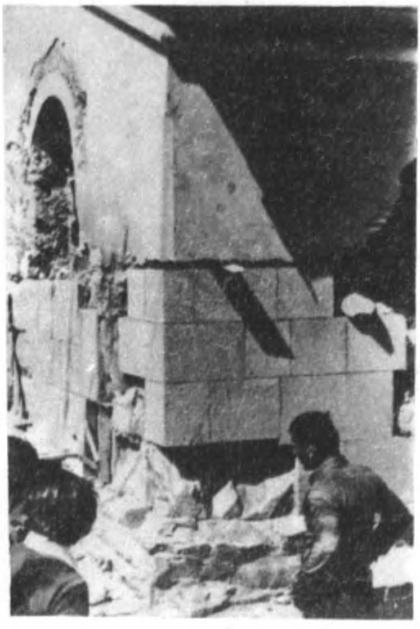


Рис. 2. Трещины, разломы и отколы в арках и сводах

а – трещины в швах кладки, выпадение камней, отколы; *б* – выпучивание кладки, вывалы камней, отколы; *в* – расслоение кладки по горизонтальному шву; *г* – расслоение кладки, отколы, обрушение камней, выпучивание (перегрузки, выветривание); *д* – вертикальная трещина в блоке, расслоение швов; *е* – трещина и выкол, связанные с перегрузкой, отколы; *ж* – отколы, выкрашивание, трещины среза; *з* – косые трещины среза, отколы, расслаивание, смещение камней

а)



б)



в)



г)

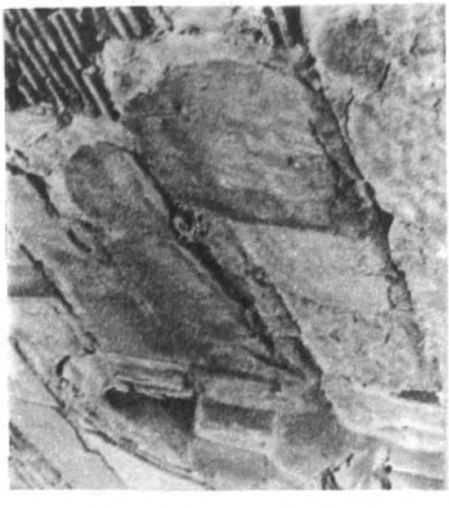
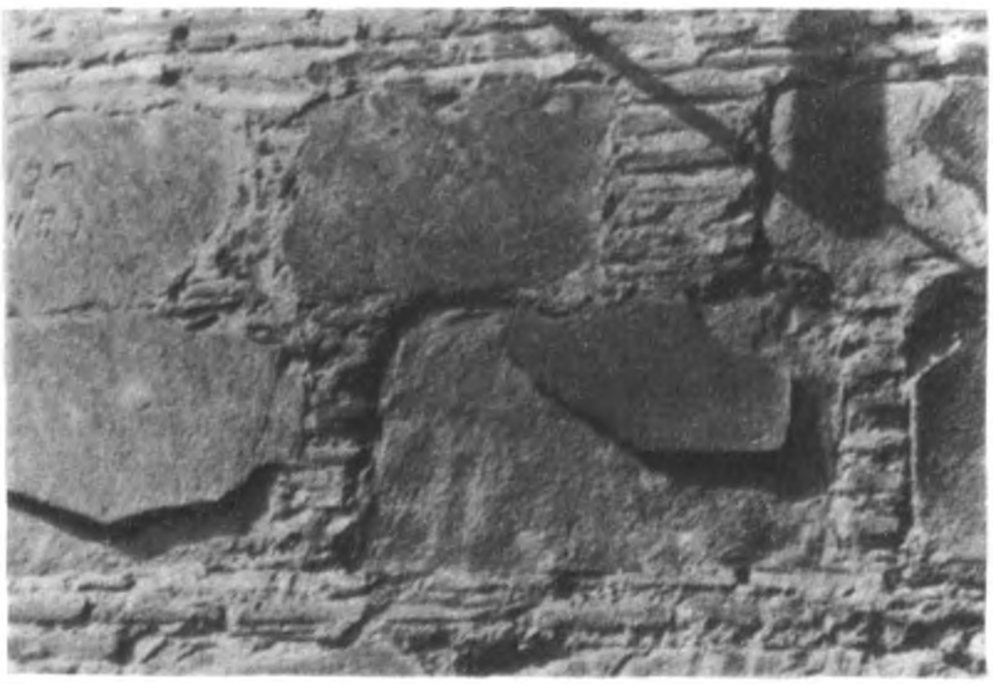


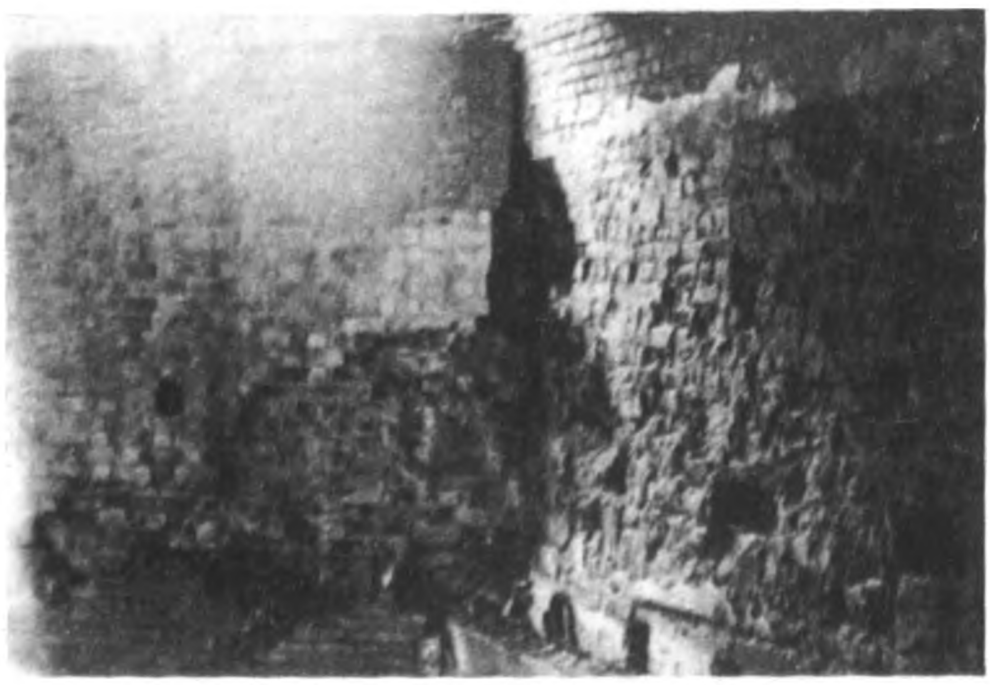
Рис. 3. Характерные типы крупных отколов, провалов, отслоения кладки

а – отколы каменных массивов, вывалы камня, обрушение кладки; *б* – провал в своде, отколы, ямчатость; *в* – откол каменного блока в пяте арки, трещины среза; *г* – отколы, обрушение облицовки, ямчатость

а)



в)



б)



c)



d)



e)



ж)



з)



и)



Рис. 4. Повреждения наружных поверхностей каменных зданий и сооружений (отколы, осыпание, ямчатость, коррозия кладки, морщинистость, отслаивание)

3.3. Одним из основных видов повреждений каменных и бетонных конструкций являются трещины. Следует различать трещины по происхождению:

осадочные, связанные с деформациями грунтового основания здания;

конструктивные, связанные с перегрузками, дефектами конструкций и отдельных камней;

температурно-влажностного характера, связанные с изменением режимов эксплуатации.

3.4. Наблюдение и контроль за осадочными деформациями необходимо осуществлять геодезическими инструментами при помощи маяков, меток и т.п., что позволяет определять характер неравномерных деформаций (прогиб, выгиб, перекос, крен).

3.5. Конструктивные трещины в каменных зданиях вызываются перегрузкой отдельных участков кладки (столбов и простенков). Для перегруженных простенков характерны вертикальные трещины по камню в простенках, трещины по швам в плитчатых перемычках, отслоение и выпучивание наружной версты или всего простенка. Длинные, жестко заделанные пояса или перемычки вызывают косые трещины среза или вертикальные трещины разрыва кладки (рис.5–20).

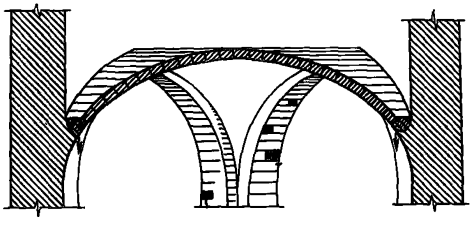


Рис.5. Повреждения в крестовом своде (выпадение камней, смятие кладки в пятах)

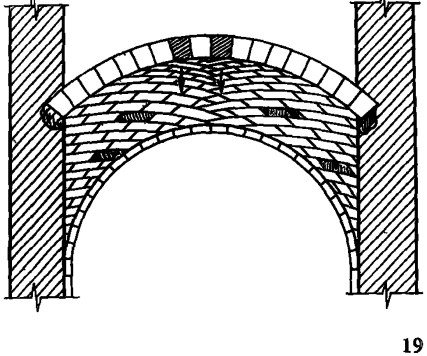


Рис.6. Повреждения в конструкции полного парусного свода (выпадение камней, смятие кладки)

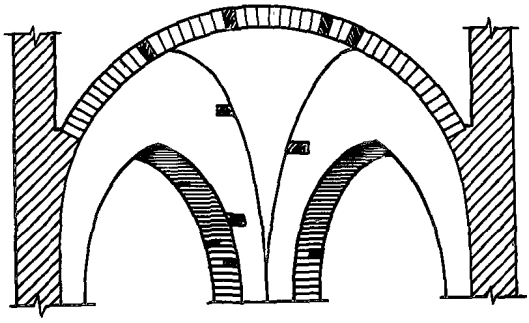


Рис.7. Повреждения в парусно-сомкнутом своде

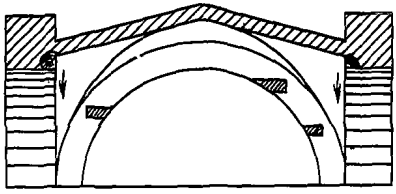


Рис.8. Повреждения в конструкции вспарушенного крестового свода

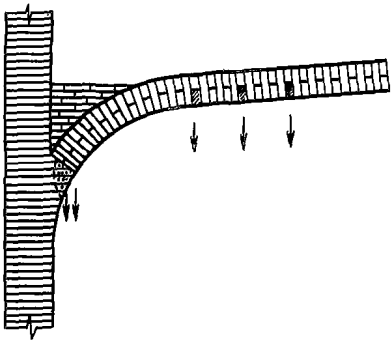


Рис.9. Повреждения в зеркальном своде с пятами поддуг, образованными выпускными рядами кладки опорных стен

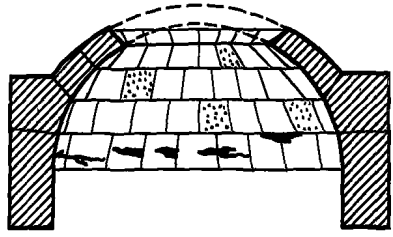
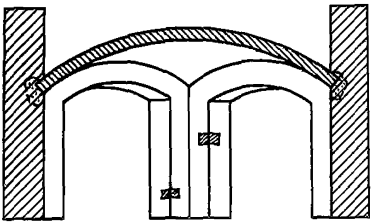


Рис.10. Повреждения в купольном своде (трещины в опорном кольце)

Рис.11. Повреждения в плоском парусном своде (смятие кладки под пятами, выпадение камней)



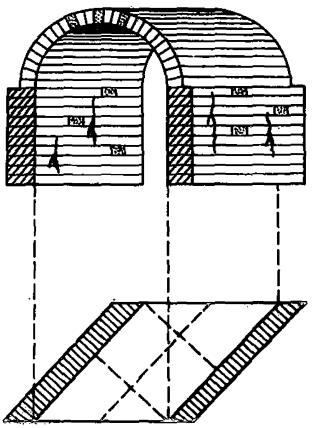


Рис.12. Повреждения в косом цилиндрическом своде (раздавливание слабых камней, трещины)

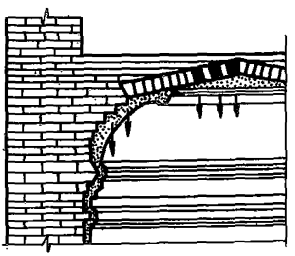


Рис.13. Повреждения в зеркальном своде (с поддугами в виде выпуклых рядов)

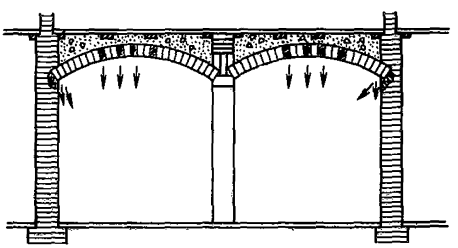


Рис.14. Характерные повреждения в плоском цилиндрическом сводчатом перекрытии (помещение разделено подпружной аркой на две части)

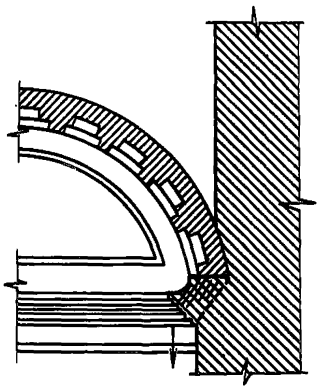


Рис.15. Повреждения в конструкции кессона в цилиндрическом своде

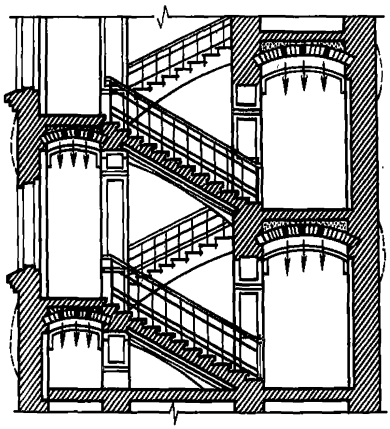


Рис.16. Характерные повреждения в столбах (выпучивание кладки) и сводах (выпадение камней) лестничной клетки

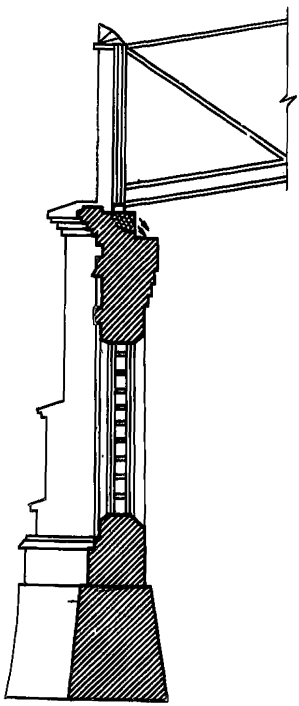
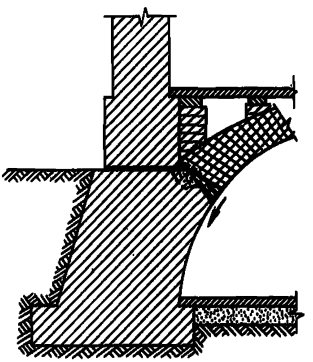


Рис.17. Характерные повреждения при опирании большепролетной металлической конструкции на контрфорсе

Рис.18. Трещины в пяте свода, опирающегося на фундамент



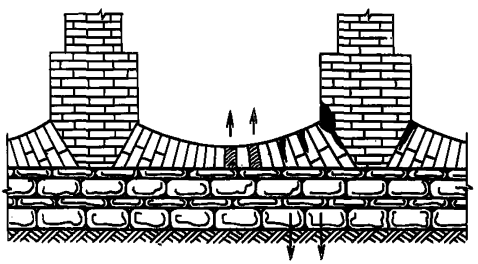


Рис.19. Характерные повреждения в конструкции непрерывного фундамента при просадке грунта

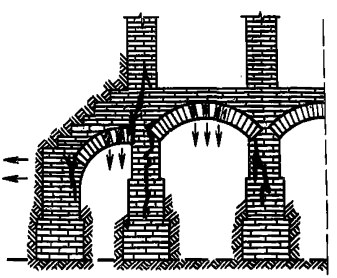


Рис.20. Характерные повреждения в столбах и арках наружных стен здания с упорными полуарками (смещение подпружной арки при присадке, выпадение камней кладки, расщепление столбов)

3.6. В каменных зданиях в местах сопряжения продольных и поперечных различно загруженных стен часто появляются наклонные или вертикальные сквозные трещины.

3.7. Температурно-влажностные трещины в каменных и кирпичных зданиях и сооружениях обычно распространяются на облицовочные слои в виде мелкой сетки бессистемных трещин в штукатурке.

3.8. В обследуемых зданиях и сооружениях из камня и кирпича, подвергаемых в дальнейшем реставрационно-восстановительным работам, необходимо определить основные прочност-

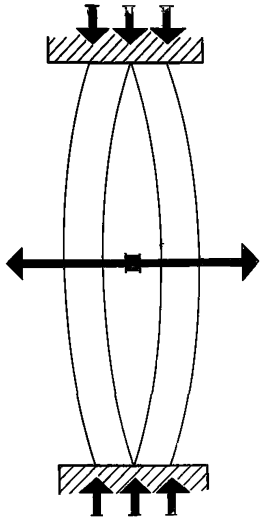


Рис.21. Схема расщепления колонн под вертикальной нагрузкой

ные характеристики; так, при сплошных кладках из полнотелого кирпича прочность на сжатие определяют по данным табл.1 с учетом коэффициента условий работы $m_к$, который принимается равным: при работе кладки на сжатие – 1,1; при площади сечения менее 0,3 м^2 – 0,8.

Расчетное сопротивление кладки из сплошных камней растяжению при изгибе $R_{р.и}$, срезу $R_{ср}$ и главным растягивающим напряжениям при изгибе $R_{гл}$ принимается при разрушении по швам по данным табл.2 и при разрушении кладки по кирпичу – по данным табл.3 (рис.21).

Таблица 1

Прочность кирпичной кладки

Марка кирпича	Расчетное сопротивление $R_{сж}$, кг/см^2, сжатию кладки кирпича (включая керамические с вертикальными щелями) на тяжелых растворах марки						
	100	75	50	25	10	4	2
150	22	20	18	15	13	12	10
125	20	19	17	14	12	11	9
100	18	17	15	13	10	9	8
75	15	14	13	11	9	7	6
50	–	11	10	9	7	6	5
35	–	9	8	7	6	4,5	4

Таблица 2

Прочность кладки при растяжении с изгибом

Вид напряженного состояния и сечение	Расчетное сопротивление, кг/см^2, при марке кирпича				
	50	25	10	4	2
1	2	3	4	5	6
Растяжение при изгибе $R_{р.и}$:					
по неперевязанному сечению	1,2	0,8	0,4	0,2	0,1
по перевязанному	2,2	1,6	0,8	0,4	0,4
Срез $R_{ср}$:					
по неперевязанному сечению	1,6	1,1	0,5	0,2	0,1
по перевязанному	2,4	1,6	0,8	0,4	0,2
Главные растягивающие напряжения $R_{гл}$ по косой штрабе	1,2	0,8	0,4	0,2	0,1

Таблица 3

Прочность кладки при разрушении по кирпичу

Вид напряженного состояния	Расчетное сопротивление, кг/см^2, при марке кирпича							
	150	100	75	50	35	25	15	10
$R_{р.и.}$ и $R_{гл}$	3	2,5	2	1,6	1,2	1	0,1	0,5
$R_{ср.}$	8	6,5	5,5	4	3	2	1,4	0,9

3.9. Поверочные расчеты стен при обследовании зданий и сооружений включают в себя: расчеты на внецентренное (центральное) сжатие; проверку на сжатие; расчет узлов опирания конструкций на кладку.

Следует учитывать основные размеры элементов, принятые при устройстве кирпичных и каменных перемычек (табл.4).

Таблица 4

Размеры перемычек в зданиях старой застройки

Марка раствора	Наибольшие пролеты перемычек, м			
	рядовых	клинчатых	арочных	
			1/8–1/12 пролета	1/3–1/5 пролета
25 и выше	1,75	1,75	2,5	3
10	–	1,5	2	2,5
4	–	1,25	1,75	2,25
	Наименьшая конструктивная высота неармированной кладки, доли пролета			
25 и выше	0,25	0,12	0,06	–
10	–	0,16	0,08	–
4	–	0,2	0,1	–

3.10. Рядовые, клинчатые и арочные перемычки рассчитывают как арки.

При действии вертикальной нагрузки арки в зависимости от очертаний (полуциркульные, коробовые или близкие к ним очертания), а также арки стрельчатой формы разрушаются так, как указано на рис.22. Характерные виды повреждений каменных перемычек приведены в табл.5.

3.11. В случаях когда износ каменных материалов приводит к снижению прочности камня (искусственного или естественного), в расчетах следует принимать значения, полученные экспериментальным путем, а затем, интерполируя соответствующие значения из табл.1–4, осуществлять окончательные расчеты.

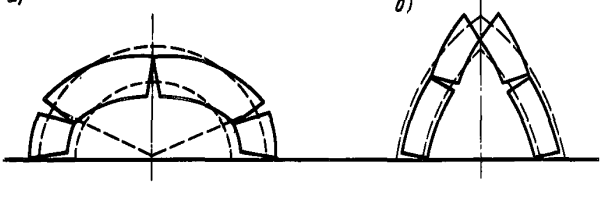
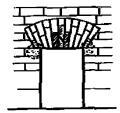


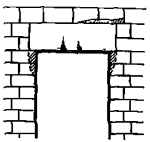
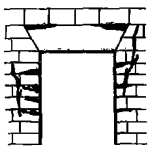
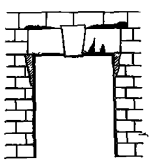
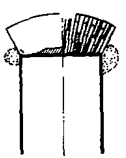
Рис.22. Схема разрушения арок под вертикальными нагрузками
а – полуциркульной арки; *б* – стрельчатой арки

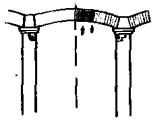
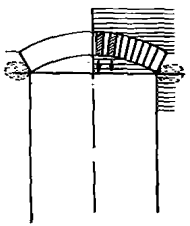
Таблица 5

Характерные виды повреждений каменных перемычек

Схема повреждений	Материал и конструкция	Место применения	Характерные виды повреждений
1	2	3	4
	Белокаменная прямая клинчатая с металлическими затяжками	Наиболее распространенный тип, применявшийся в цокольных этажах	Коррозия металла затяжки; выколы камня, трещины, околы кромок
	Белокаменная клинчатая с лучковым верхом и металлическими затяжками	Встречается в средней полосе России	Коррозия металла затяжки; повреждения замкового камня, трещины, расслаивание
	Белокаменная клинчатая с лучковым низом и металлическими затяжками	В цокольных этажах, реже в верхних	То же
	Белокаменная монолитная, прямая (балочного типа), без связей	В основном в цокольных этажах зданий Ленинграда, Одессы, Львова	Трещины наклонные и вертикальные, расслаивание, откол кромок

Продолжение табл. 5

Схема повреждений	Материал и конструкция	Место применения	Характерные виды повреждений
1	2	3	4
	Гранитная или из блока песчаника, прямая (балочного типа), без связей	В оконных проемах цоколей зданий Ленинграда, Одессы, Львова	Трещины вертикальные, наклонные; раскалывание блока; расслаивание кладки в местах опирания
	Гранитная, белокаменная или из блоков песчаника в виде большого клина, срезанного под углом в 60^{0}, без связей	Применялась преимущественно в Петербурге, встречается на Западной Украине, в Херсонской области	Отколы кромок блока; расслаивание кладки в местах опирания; трещины наклонные и вертикальные
	Гранитная с замковым камнем в виде клина	Наиболее часто встречается в Ленинграде, Одессе, на Западной Украине	Трещины наклонные и вертикальные в блоке; расслаивание кладки на опорах; смещение замкового камня
	Кирпичная с сегментным верхом и металлическими затяжками, а иногда шпренгверком	Наиболее распространенный тип кирпичной перемычки в строительстве зданий	Трещины наклонные, расслаивание кладки; коррозия (разрывная) металла затяжки

	Двойная кирпичная перемычка с пологой аркой и металлическими затяжками	В стенах и архитравах при значительных пролетах	Расслаивание кладки между аркой и перемычкой; коррозия (разрывная) металла затяжки; трещины наклонные и вертикальные
	Кирпичная, прямая, ярославская с замком в виде елки и металлическими затяжками	В основном в провинциальном строительстве зданий и сооружений	Трещины наклонные; коррозия (разрывная) металла затяжки; выпадение камней; расслаивание
	Плоская кирпичная с металлическими затяжками	В стенах зданий и архитравах портиков	Трещины наклонные; расслаивание кладки; выпадение камней; коррозия (разрывная) металла затяжки
	Кирпичная архитравная перемычка с металлическими связями	В основном в архитравах портиков	То же

ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.12. Повреждения бетонных и железобетонных элементов и конструкций весьма разнообразны, однако проведенный анализ повреждений позволяет объединить их в группы.

Неудачные конструктивные решения:

неправильно учитывались специфические особенности бетона и железобетона при проектировании и строительстве;

не учитывались особенности технологии изготовления и разопалубки элементов.

Низкое качество изготовления железобетонных и бетонных конструкций:

неудовлетворительное качество применяемых материалов (применение цементов низких марок и качества; неудовлетворительный подбор гранулометрического состава заполнителей и т.п.);

нарушение технологии изготовления конструкций (нарушение режимов твердения бетона, установка арматуры с отступлением от проекта, плохое уплотнение бетона, неудовлетворительное крепление закладных деталей и т.п., рис.23–34).

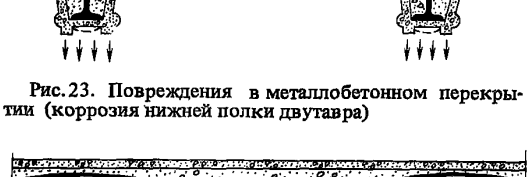


Рис.23. Повреждения в металлобетонном перекрытии (коррозия нижней полки двутавра)

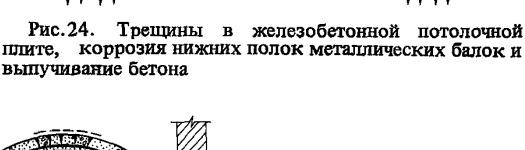
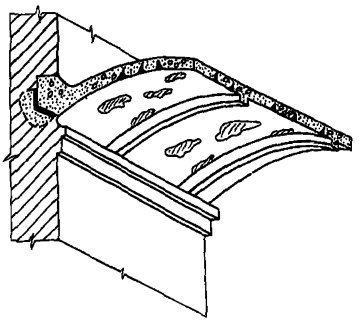


Рис.24. Трещины в железобетонной потолочной плите, коррозия нижних полок металлических балок и выпучивание бетона



Рис.25. Трещины в своде (с дополнительной арматурой), смятие и выпадение камней в пятах свода, коррозия и выкрашивание бетона в верхней части свода

Рис. 26. Повреждения в ребристом своде



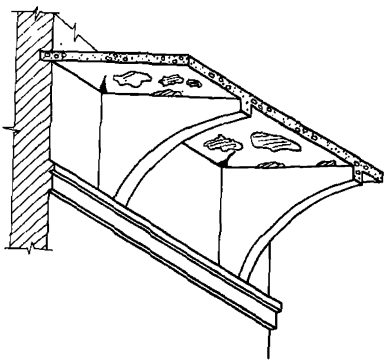


Рис. 27. Повреждения в ребристом своде (покрытие между ребрами плоского вида)

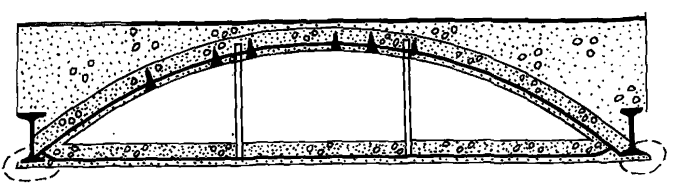


Рис. 28. Трещины и коррозия нижней полки двутавра в сводчатом потолке с подвешенной плоской плитой

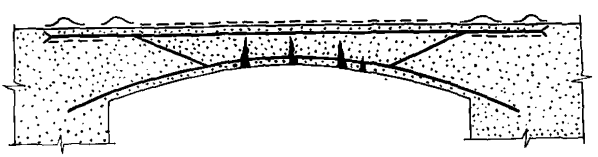


Рис. 29. Трещины в своде с горизонтальной верхней поверхностью, проскальзывание верхней арматуры и коррозия плиты

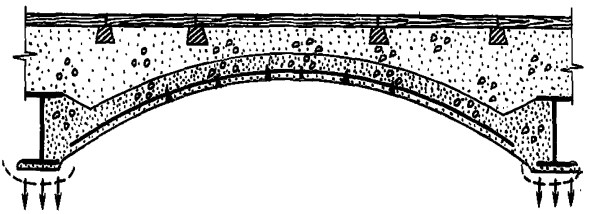


Рис. 30. Трещины в перекрытии на железобетонных сводчатых плитах и выпучивание в зонах металлических балок



Рис. 31. Характерные трещины (в растянутой зоне) железобетонного свода, проскальзывание арматуры на опорах, выкрашивание сжатой зоны бетона

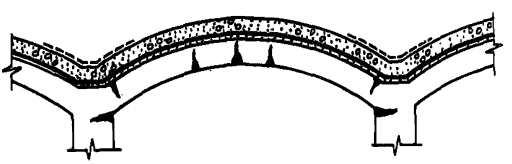


Рис. 32. Трещины в ребристом своде со сводчатым перекрытием между ребрами и коррозия плиты над опорами

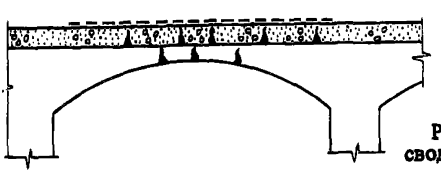


Рис. 33. Трещины в ребристом своде и коррозия плиты

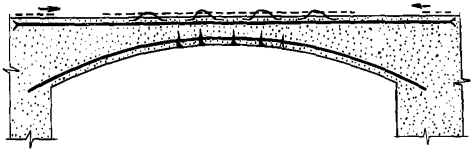


Рис. 34. Трещины в своде с горизонтальной верхней поверхностью, проскальзывание верхней арматуры на опорах, коррозия плиты и потеря сцепления арматуры с бетоном в пролете

3.13. В отдельную группу причин, вызывающих повреждения эксплуатируемых железобетонных конструкций, следует отнести:

реконструкцию зданий и сооружений, в результате чего возможно изменение расчетной схемы приложения и величины нагрузок;

ошибки при проектировании и возведении железобетонных конструкций;

неравномерные осадки основания, механические повреждения и др.

3.14. По своему характеру повреждения и дефекты бетона (рис. 35) в элементах железобетонных конструкций можно разделить на следующие виды.

Трещины – наиболее распространенный и трудноустранимый вид повреждений.

По степени их влияния на эксплуатационные качества конструкции трещины можно классифицировать:

трещины, указывающие на значительные деформации арматуры и свидетельствующие о значительных нормальных и растягивающих напряжениях в конструкции;

трещины, угрожающие коррозией арматуры;

трещины, ухудшающие внешний вид конструкции.

По характеру и причинам возникновения:

трещины от нормальных или касательных напряжений;

трещины усадочные, температурные, деформационные;

трещины технологические;

трещины от коррозии арматуры.

По роду развития:

стабилизировавшиеся во времени;

нестабилизировавшиеся во времени;

закрытые и раскрытые;

сквозные и несквозные.

Раковины возникают обычно при использовании особо жестких бетонов, расслоении смеси, плохой ее укладке, в местах

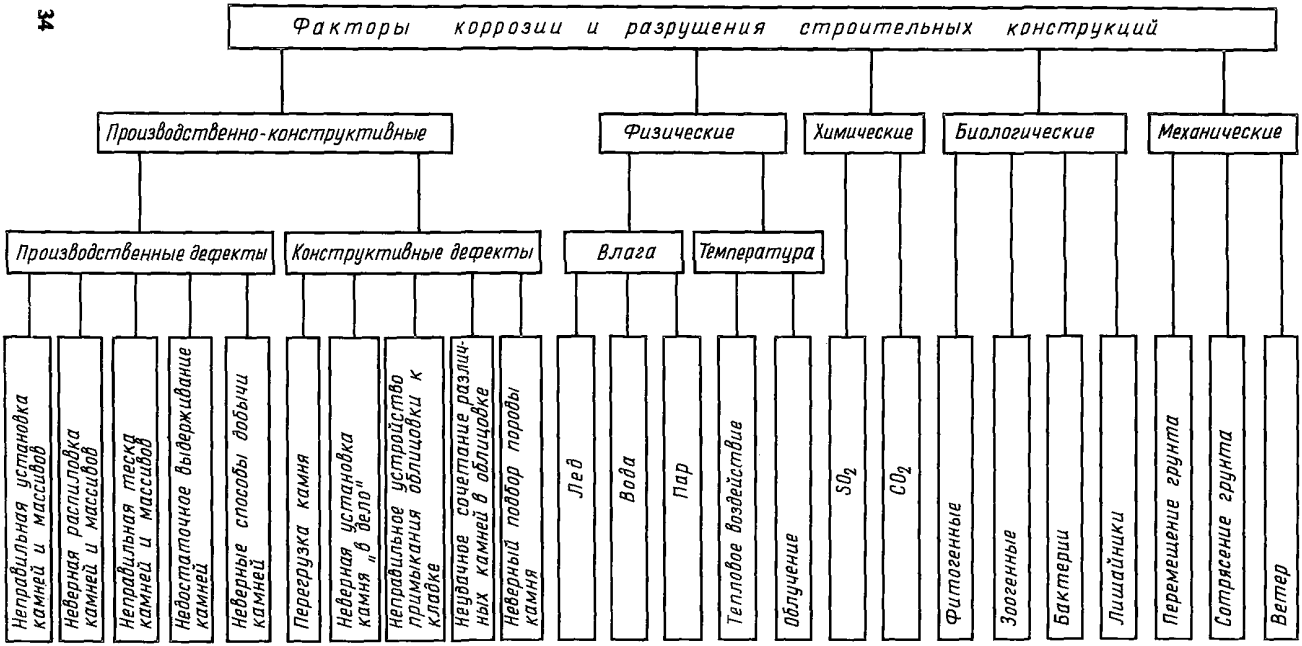


Рис. 35. Причины разрушения строительных конструкций

насыщения элемента арматурой и т.п. Встречаются поверхностные плоские раковины, глубинные и сквозные.

Обнажение арматуры связано с образованием пустот в теле изделия при непрохождении бетонной смеси в отдельных участках элемента или с отколом бетона, выветриванием.

Отколы бетона возникают вследствие механических воздействий и вызывают местную коррозию.

Разломы приводят к значительным нарушениям формы элемента.

Нарушение целостности поверхностного слоя — мелкие раковины и неровности.

4. УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ РЕСТАВРИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

4.1. Проведение реставрационных работ различных зданий и сооружений зачастую вызывает усиление определенных конструктивных элементов либо ликвидацию различного рода дефектов. При выборе способов усиления конструктивных элементов зданий и сооружений необходимо:

определить характер работы конструкций и схему приложения нагрузок;

тщательно обследовать состояние конструкций, выявить причины, характер и степень возможности дальнейшего развития трещин;

установить фактические размеры конструкций и их сечений;

выявить фактическую прочность материала к моменту усиления, а также характер работы конструкции после усиления;

установить расчетом фактическую несущую способность восстанавливаемых конструкций.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ И КОНСТРУИРОВАНИЮ УСИЛЕНИЙ

4.2. В общем случае усиление конструкций при реставрационных работах может быть выполнено двумя способами: без изменения первоначальной статической схемы и напряженного состояния и с изменением последних.

4.3. При сохранении неизменной статической схемы и напряженного состояния конструкций усиление может быть выполнено путем заполнения трещин полимерраствором, что обеспечит соединение поврежденных частей конструкции; соединение элементов полимерраствором; посредством установки дополнительной арматуры в теле конструкции на полимерраство-ре; устройстве обойм, рубашек, разгружающих конструкций.

4.4. Усиление дополнительными опорами как жесткими, так и упругими вызывает изменение первоначальной статической

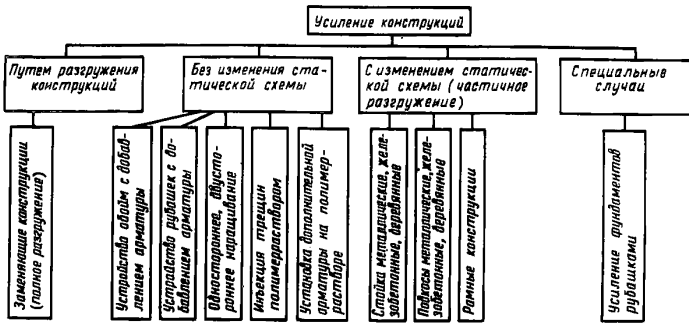


Рис. 36. Классификация способов усиления конструкций зданий и сооружений при проведении реставрационных работ

схемы усиливаемой конструкции. Данный способ усиления, используемый для временного разгружения усиливаемой конструкции на период проведения работ, при реставрационных работах может быть рекомендован как дополнение к первому способу.

4.5. Определение возможности и выбор способов усиления должны производиться в каждом конкретном случае с учетом: состояния конструкции (вид и характер дефектов); прочности материалов конструкций; эксплуатационных требований; условий производства работ по усилению; степени сохранности сооружения и т.д. Классификация способов усиления приведена на рис. 36.

4.6. Проверочные расчеты элементов конструкций, подлежащих усилению (каменные, бетонные, железобетонные), а также расчет и конструирование усилений из железобетона должны производиться в соответствии с указаниями соответствующих глав СНиП.

4.7. Элементы усилений, являющиеся для усиливаемой конструкции разгружающими и с нею незамоноличенные (полное или частичное разгружение), рассчитываются как самостоятельные или составные системы, частью которых являются усиливаемые элементы конструкций. Элементы разгружающих систем усилений должны быть после установки надежно включены в работу посредством связей, распорок, клиньев, стяжек и т.п.

4.8. Элементы конструкций, усиливаемые железобетонными обоймами на полимеррастворе, рубашками, наращиванием, установкой дополнительной арматуры на полимеррастворе, рассчитываются вместе с усилением как монолитные. При этом повреждения элементов должны учитываться снижением полученной прочности в процентном отношении, определяемом обоснованными соображениями.

4.9. При усилении элементов конструкций обоймами и трехсторонними рубашками поперечное армирование следует конструировать замкнутым.

4.10. Усиление армированных конструкций односторонним или двусторонним наращиванием осуществляется следующим образом: обнажается существующая арматура, к которой привариваются новые, дополнительные арматурные стержни и хомуты, а затем бетонируется наращиваемая часть с устройством полимерной адгезионной обмазки. Для неармированных конструкций хомуты должны закрепляться с помощью полимерраствора в отверстиях, высверливаемых в конструкции, с шагом, соответствующим шагу хомута. Дополнительная арматура приваривается к стержням основной арматуры при помощи коротышей или наклонных стержней вразбежку, при этом приварка к существующей арматуре, не заведенной на опору, не допускается. Шаг хомутов в обоймах, рубашках при наращивании следует принимать равным не более 15-кратного диаметра продольной арматуры, не более 3-кратной толщины обоймы и не более 200 мм. Около опорных частей железобетонных обойм хомуты устанавливаются с шагом, уменьшенным вдвое.

4.11. При усилении обоймами, рубашками, наращиванием поверхность усиливаемой конструкции подготавливается путем удаления непрочного поверхностного слоя (очистка металлическими щетками, обработка поверхности пескоструйным аппаратом и т.п.) и промывается водой. По подготовленной и высушенной поверхности наносится адгезионная обмазка из полимерраствора, после чего укладывается бетон с обязательным вибрированием.

4.12. Усиление конструктивных элементов путем инъекции трещин полимерраствором осуществляется после соответствующей подготовки трещины ее герметизации. Заполнение трещины полимерраствором производится через нагнетательные трубки поверхностного или глубинного типа, поставленные с шагом, зависящим от глубины и ширины раскрытия трещины.

4.13. Усиление конструкции методом закрепления арматуры на полимерраствоpe в теле конструктивного элемента производится путем вклеивания арматуры в специально подготовленные пазы (штрабы) по всей длине элемента либо на расчетную длину анкеровки $l_{анк}$ при местном усилении.

СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

4.14. Различные типы и состояние строительных конструкций, факторы воздействий обусловливают применение того или иного способа усиления конструкций.

4.15. Разгружающие конструкции усиления могут быть трех видов по роду выполняемых функций – конструкциями частичного, полного и смешанного разгружения.

4.16. Частично разгружающие конструкции (рис.37) работают совместно с существующими элементами и применяются в тех случаях, когда с усиливаемой конструкции необходимо снять только часть нагрузки. При применении жестких разгружающих конструкций необходимо предусмотреть мероприятия, обеспечивающие своевременное включение их в общую работу конструктивных элементов.

4.17. Конструкции полного разгружения (рис.38) воспринимают на себя всю нагрузку, практически выключая из работы существующие элементы. При полной разгрузке конструкций элементы усиления не должны иметь связей с разгружаемой конструкцией.

4.18. Разгружающие конструкции могут быть рекомендованы в качестве временных, используемых для разгрузки на период проведения реставрационных работ.

4.19. Усиление железобетонных конструкций обоймами, рубашками, односторонним и двусторонним наращиванием применяется при необходимости значительного увеличения несущей способности. Обоймы, рубашки, наращивание применяются при усилении изгибаемых, центрально и внецентренно сжатых конструктивных элементов.

4.20. Обоймы устраиваются замкнутыми (рис.39,*а*), благодаря чему они плотно охватывают усиленный элемент со всех сторон; адгезионная обмазка из полимерраствора обеспечивает монолитную связь нового бетона с материалом конструкции и усиленная конструкция может рассматриваться как единое

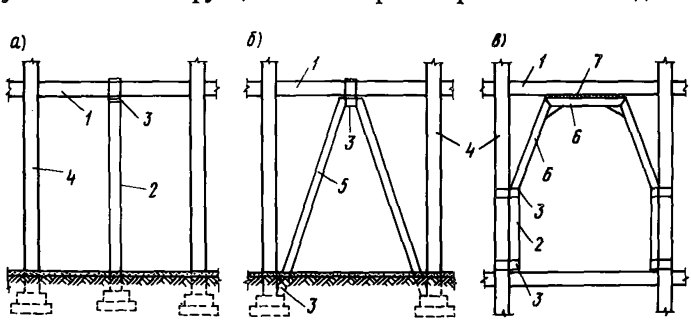


Рис.37. Конструкции частичного разгружения
а – подведенная стойка; *б* – подведенная подкосная опора; *в* – рама; *1* – усиливаемая конструкция; *2* – стойка; *3* – обхватывающий хомут; *4* – существующие колонны; *5* – подведенная жесткая опора; *6* – элементы усиливающей рамы; *7* – жесткий цементный раствор

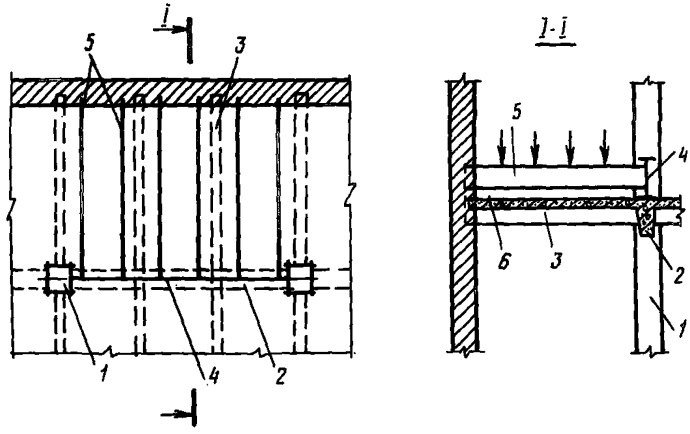


Рис. 38. Конструкции полного разгружения:
1 – колонна; *2* – главная балка перекрытия; *3* – второстепенная балка перекрытия; *4 и 5* – соответственно главная и второстепенные металлические разгружающие балки; *б* – зазор между разгрузочной и разгружаемой конструкцией

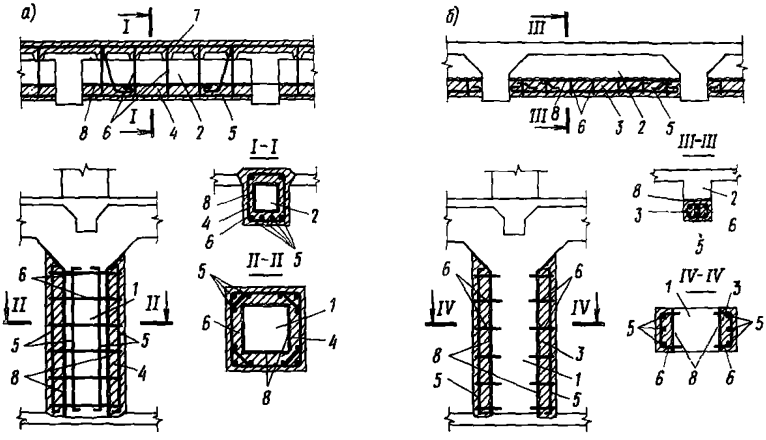


Рис. 39. Усиление сжатых и изгибаемых конструкций
а – железобетонными обоймами; *б* – наращиванием бетона; *1* – усиливаемая колонна; *2* – усиливаемая балка; *3* – конструкция наращивания; *4* – обойма; *5* – стержни усиления; *6* – хомуты; *7* – отверстие для установки хомутов и подачи бетона; *8* – адгезионная обмазка полимерраствором по обработанной поверхности конструкции

целое. Конструктивно железобетонные обоймы устраиваются толщиной 6—10 см. Для центрально-сжатых конструкций толщина обоймы определяется расчетом и может превышать указанную величину. Сечение продольной рабочей арматуры обойм определяется расчетом по СНиП II-21-75.

4.21. Усиление наращиванием (рис.39,*б*) осуществляется путем увеличения сечения конструкций по высоте или ширине (снизу, с боков или сверху усиливаемого сечения). Усиление конструкций наращиванием может выполняться как по всей длине конструктивного элемента, так и в пределах отдельных наиболее перегруженных участков. Величиной наращивания обычно задаются, а сечение дополнительной арматуры определяют расчетом. Дополнительная арматура приваривается к основной арматуре (для армированных конструкций) с помощью коротышей, наклонных и вертикальных хомутов. Привариваемые к продольной арматуре хомуты-коротыши, косые стержни и прочие элементы поперечной арматуры условно рассчитываются на срез и должны полностью воспринимать сдвигающую силу, действующую в плоскости сопряжения.

4.22. Повышение несущей способности усиливаемого конструктивного элемента можно добиться увеличением продольной арматуры. Дополнительная продольная арматура может быть омоноличена в специально выполненных тем или иным способом пазах с помощью высоконаполненных эпоксидных полимеррастворов (рис.40,*а*). Полимеррастворнадежно заанкеривает арматуру, обеспечивая совместность ее работы с материалом конструкции. Количество дополнительной арматуры определяется расчетом, как для монолитной конструкции.

4.23. Усиление конструкций (колонн, балок, фундаментов) рубашкой (рис.40,*б*) выполняется в виде незамкнутой с одной стороны обетонки. Рубашки армируются продольной и поперечной арматурой, часть из которой является рабочей, а часть конструктивной. Сечение рабочей арматуры рубашек определяется расчетом. Устанавливается рабочая арматура в растянутой зоне конструкции. Поперечная арматура выполняется в виде отдельных стержней или открытых хомутов.

4.24. Рубашки для усиления фундаментов (рис.41) устраиваются поверх существующих фундаментов и армируются замкнутой горизонтальной арматурой и перпендикулярными стержнями, устанавливаемыми в вертикальных плоскостях. Рабочей арматурой фундаментных рубашек являются нижние горизонтальные стержни, которые устанавливаются по расчету. Над фундаментными рубашками устраиваются обоймы в пределах нижней части колонн. Для анкеровки рубашек, наращивания и обойм усиления в местах сопряжения колонн с перекрытиями или фундаментами устраивают отверстия, необходимые для пропуска арматуры и удобства бетонирования.

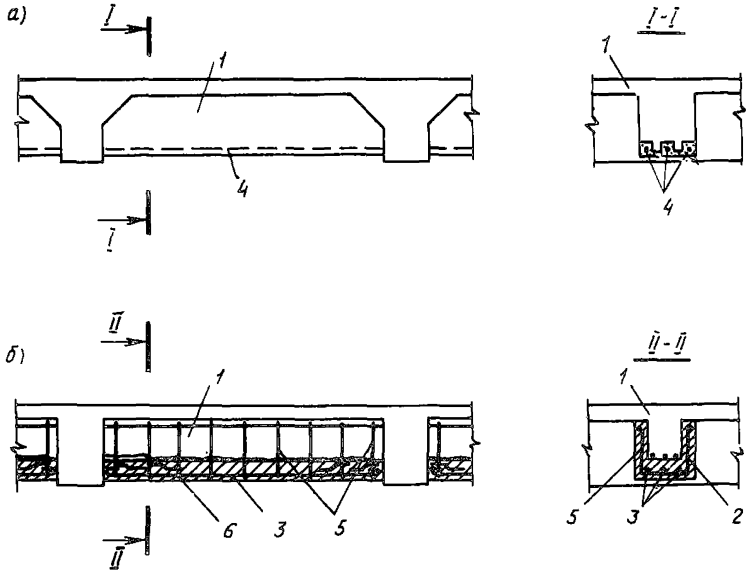


Рис.40. Усиление изгибаемых конструкций

а – установкой дополнительной арматуры на полимеррастворе; *б* – устройством трехсторонней бетонной рубашки с дополнительной арматурой; *1* – усиливаемая конструкция; *2* – трехсторонняя рубашка; *3* – арматура усиления; *4* – дополнительная горизонтальная арматура, вклеенная в тело конструкции; *5* – хомуты; *6* – адгезионная обмазка по обработанной поверхности конструкции

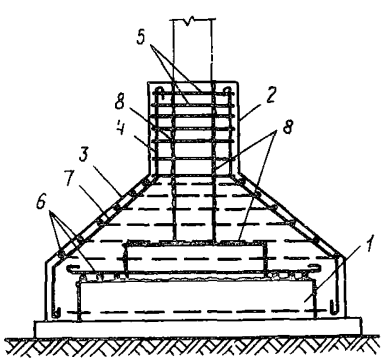


Рис.41. Усиление фундамента железобетонной рубашкой

1 – усиливаемый фундамент; *2* – обойма на колонне; *3* – железобетонная рубашка; *4* – продольная арматура; *5* – хомуты; *6* – горизонтальная арматура; *7* – наклонные стержни; *8* – адгезионная обмазка полимеррастворм по обработанной поверхности конструкции

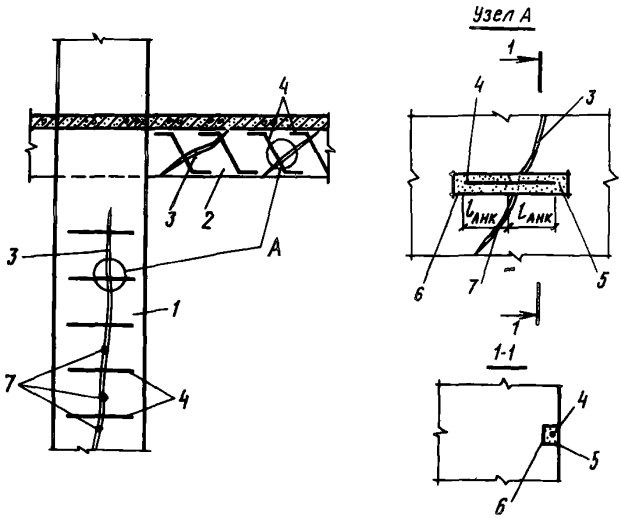


Рис.42. Усиление конструкций установкой дополнительной арматуры на полимерраствоpе с инъекцией трещин
1 – колонна; *2* – балка; *3* – трещина; *4* – дополнительная арматура; *5* – полимерраствор; *6* – штраба (паз); *7* – ниппель для нагнетания полимерраствора

4.25. Усиление изгибаемых элементов по наклонным сечениям может быть осуществлено установкой дополнительной поперечной арматуры на полимерраствоpе (рис.42). Арматура устанавливается в пазы конструкции и омоноличивается полимерраствоpом, обеспечивающим совместность ее работы с усиливаемой конструкцией.

4.26. Усиление конструкций, получивших повреждения в виде трещин (см. рис.42), может быть выполнено путем инъекции трещин полимерраствоpом, обеспечивающим равнопрочное соединение расчлененных трещиной участков конструкции. Инъекция трещин осуществляется под давлением через специальные приспособления. Для предупреждения возможного дальнейшего раскрытия трещины рекомендуется установка в пазах (штрабе) дополнительной поперечной арматуры с соответствующей расчетной длиной анкеровки в обе стороны от трещины. Длина анкеровки определяется в зависимости от расчетных характеристик материала конструкции.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ УСИЛЕНИЯ

4.27. Расчет усиления центрально-сжатых элементов железобетонными обоймами (кирпичная кладка, железобетонные колонны).

Расчет прочности усиленных элементов каменных, бетонных и железобетонных конструкций по формуле центрального сжатия согласно СНиП II-21-75 производится при величине эксцентриситета $e_0 \leq 1/600$ длины элемента, $e_0 \leq 1/30$ высоты сечения элемента и $e_0 \leq 1$ см; и при расчетной длине элемента прямоугольного сечения $l \leq 20h$.

а) Расчет конструкций из кирпичной кладки, усиленных обоймами, производится по формуле

$$N \leq \varphi m_{дл} \left[\left(m_к R + \frac{3\mu}{1+\mu} \frac{R_{а.п}}{100} \right) F_к + m_б R_{пр.об} F_{об} + R_{а.с.об} F_{а.д} \right], \quad (1)$$

где $$\mu = \frac{2F_х (h+b)}{hbs} \cdot 100;$$

б) Расчет железобетонных колонн, усиленных обоймами, производится по формуле

$$N \leq m\varphi \left[\left(R_{пр} F_б + R_{а.с} F_а \right) + m_б R_{пр.об} F_{об} + R_{а.с.об} F_{а.д} \right]. \quad (2)$$

При армировании обоймы усиления центрально-сжатых элементов в пределах 1%, т.е.

$$F_{а.д} = 0{,}01 F_{об}. \quad (3)$$

Расчетные формулы (1) и (2) примут вид:

$$N \leq \varphi m_{дл} \left[\left(m_к R + \frac{3\mu}{1+\mu} \frac{R_{а.п}}{100} \right) F_к + F_{об} \left(m_б R_{пр.об} + 0{,}01 R_{а.с.об} \right) \right]; \quad (4)$$

$$N \leq m\varphi \left[\left(R_{пр} F_б + R_{а.с} F_а \right) + F_{об} \left(m_б R_{пр.об} + 0{,}01 R_{а.с.об} \right) \right] \quad (5)$$

где N – продольная сила;
$F_к$ – площадь сечения усиливаемой кладки;
$F_б$ – площадь сечения усиливаемой железобетонной колонны;
$F_{об}$ – площадь сечения бетона обоймы;
$F_а$ – площадь сечения продольной арматуры;
$F_{а.д}$ – площадь сечения дополнительной арматуры обоймы;
$F_х$ – площадь сечения хомутов;
R – расчетное сопротивление сжатию кладки;
$R_{пр}$ – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию;
$R_{пр.об}$ – расчетное сопротивление бетона обоймы осевому сжатию;
$R_{а.с}$ – расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию;
$R_{а.с.об}$ – расчетное сопротивление сжатию дополнительной арматуры обоймы;
$R_{а.п}$ – расчетное сопротивление поперечной арматуры обоймы;

φ – коэффициент продольного изгиба;

$m_{дл}$ – коэффициент, учитывающий влияние длительного воздействия нагрузки;

$m_к$ – коэффициент условий работы кладки, принимаемый $m_к = 1$ для кладки без повреждений, и $m_к = 0{,}7$ – для кладки с трещинами;

$m_в$ – коэффициент условий работы бетона, равный 1, при передаче нагрузки на обойму и наличии опоры снизу; 0,7 – при передаче нагрузки на обойму и отсутствии опоры снизу; 0,35 – без непосредственной передачи нагрузки на обойму;

μ – процент армирования хомутами;

s – расстояние между хомутами ($s \leq 15$ см).

Площадь сечения бетона обоймы усиления $F_{об}$ может быть определена по следующим расчетным формулам:

для кирпичной кладки

$$F_{об} = \frac{\dfrac{N}{\varphi m_{дл}} - \left(m_к R + \dfrac{3\mu}{1+\mu}\dfrac{R_{а.л}}{100}\right)F_к}{m_в R_{пр.об} + 0{,}01 R_{а.с.об}}; \qquad (6)$$

для железобетонной колонны

$$F_{об} = \frac{\dfrac{N}{m\varphi} - \left(R_{пр}F_в + R_{а.с}F_а\right)}{m_в R_{пр.об} + 0{,}01 R_{а.с.об}}. \qquad (7)$$

Расчетная толщина монолитной железобетонной обоймы определяется по формуле (см. рис. 43)

$$d = \frac{\sqrt{(b+h)^2 + 4F_{об}} - (b+h)}{4}. \qquad (8)$$

Площадь сечения продольной арматуры обоймы определяется по формуле (3).

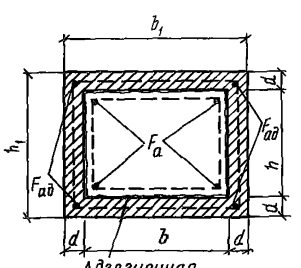


Рис. 43. Расчетная схема усиления сжатых элементов

Проверка прочности усиленных конструкций производится по формулам (1) и (2) с учетом полученных при расчете сечений бетона обоймы и арматуры.

4.28. Расчет усиления изгибаемых элементов.

Расчет железобетонных балок и изгибаемых неармированных элементов, усиленных обоймами, рубашками, наращиванием или вклеиванием в тело конструкции дополнительной арматуры на полимеррастворе производится как расчет балок с увеличенным сечением бетона и арматуры. Толщину обоймы или наращивания и площадь дополнительной арматуры определяют из условия, чтобы балка после усиления обладала достаточной несущей способностью. Обычно толщиной обоймы или наращивания в растянутой зоне элемента задаются. В момент усиления изгибаемые элементы должны быть максимально разгружены. Количество дополнительной арматуры определяют по формуле

$$F_{a.\Delta} = -\frac{A}{2} - \sqrt{\frac{A^2}{4} - B}\ , \qquad (9)$$

где

$$A = \frac{F_a R_a - R_{пр} b (h_o + a_o)}{0{,}5 R_a}\ ; \qquad (10)$$

$$B = \frac{2(M - F_a R_a h_o) R_{пр} b}{R_a^2} + F_a^2\ . \qquad (11)$$

В формулах (10) и (11)

M – изгибающий момент;

R_a – расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению.

Величину сжатой зоны железобетонного сечения определяют по формуле

$$x = \frac{R_a (F_a + F_{a.\Delta})}{b R_{пр}}\ . \qquad (12)$$

Если существующая арматура (F_a) расположена на расстоянии более $0{,}5(h-x)$ от растянутой грани усиленного сечения, тогда в формулах (10–12) для этой арматуры принимается расчетное сопротивление $0{,}8\,R_a$ (рис.44).

4.29. Расчет закрепления арматуры в конструкции с помощью полимеррастворa.

Закрепление арматуры в теле конструкции может быть выполнено путем заанкеривания арматуры с помощью полимеррастворa в предварительно устроенной штрабе. Расчет клеевого закрепления арматурного стержня (при усилении трещин конструкций, см. рис.42) может быть выполнен на основании общепринятых положений.

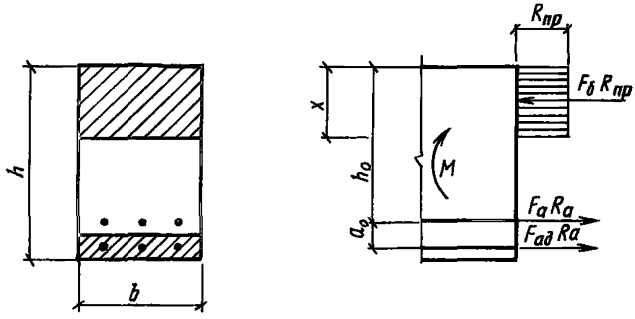


Рис.44. Расчетная схема балки при усилении обоймой, рубашкой, наращиванием

По условиям прочности

$$N \leq R_a F_a ; \tag{13}$$

$$N \leq R_{пл}^{ср} F_{пл}^{ср}; \tag{14}$$

$$N \leq R_{пл}^{сц} F_{пл}^{сц}, \tag{15}$$

где

$$F_{пл}^{ср} = \pi d l_{анк} \quad \text{и} \quad F_{пл}^{сц} = p_ш l_{анк} . \tag{16}$$

По условиям деформаций:

$$\varepsilon_{пл} \leq \varepsilon_{пл}^{пр} . \tag{17}$$

В формулах (14)–(17) приняты следующие обозначения:

$R_{пл}^{ср}$ – предел сопротивления полимерраствора срезу по контакту арматура–полимерраствор;

$R_{пл}^{сц}$ – предел сопротивления полимерраствора сцеплению по контакту материал–полимерраствор;

$F_{пл}^{ср}$ – площадь среза по контакту арматура–полимерраствор;

$F_{пл}^{сц}$ – площадь сцепления по контакту материал–полимерраствор;

d – диаметр арматуры;

$p_ш$ – внутренний периметр соединительной штрабы;

$l_{анк}$ – длина заделки стержня в штрабе;

$\varepsilon_{пл}^{пр}$ – предельные относительные деформации полимерраствора.

Приведенные условия прочности записаны для случая закрепления в штрабе арматуры периодического профиля. При расчете

закрепления гладкой арматуры $R_{пл}^{ср}$ в формуле (14) должно быть заменено на $R_{пл}^{сц}$.

Прочность заделки арматуры в теле конструкции (в штрабе) зависит как от прочности закрепления арматуры в полимеррастворе, так и от прочности материала конструкции (камень, кирпич, бетон и др.) при воздействии скалывающих усилий, возникающих на границе материал-полимерраствор.

Расчет необходимой длины закрепления арматурного стержня в полимеррастворе может быть произведен по формуле (14). С учетом формулы (13) можно записать:

$$R_a F_a \leq R_{пл}^{ср} F_{пл}^{ср}, \qquad (18)$$

учитывая, что $F_a = \frac{\pi d^2}{4}$ и $F_{пл}^{ср} = \pi d l_{анк}$,

формулу (18) можно записать:

$$R_a \frac{\pi d^2}{4} \leq R_{пл}^{ср} \pi d l_{анк}$$

или

$$l_{анк} \geq \frac{R_a}{4 R_{пл}^{ср}} d. \qquad (19)$$

Формула (19) позволяет произвести расчет прочности закрепления арматуры в полимеррастворе в зависимости от ее диаметра и расчетных характеристик арматуры и полимерраствора.

Принимая среднее $R_{пл}^{ср}$=200 кгс/см^2 (20 МПа) (средние экспериментальные данные) и R_a=3400 кгс/см^2 (340 МПа) (арматура класса А-III), получим:

$$l_{анк} \geq \frac{3400}{4 \cdot 200} d = 4{,}25 d.$$

Учитывая, что прочностные характеристики на скалывание материала конструкций, как правило, значительно ниже $R_{пл}^{ср}$, прочность клеевого закрепления арматуры в штрабе обусловливается работой материала штрабы на срез. Условие прочности закрепления стержня в штрабе при работе материала конструкции на срез может быть выражено так:

$$N \geq R_м^{ср} F_м^{ср}. \qquad (20)$$

С учетом формулы (13) можно записать:

$$R_м^{ср} F_м^{ср} \geq R_a F_a \qquad (21)$$

при $F_м^{ср} = p_ш l_{анк} = (b+2h) l_{анк}$ и $F_a = \frac{\pi d^2}{4}$,

формула (21) примет вид

$$R_м^{ср}(b+2h)l_{анк} \geqslant R_а \frac{\pi d^2}{4}$$

или

$$l_{анк} \geqslant \frac{R_а \pi d^2}{4 R_м^{ср}(b+2h)} . \qquad (22)$$

В формулах (20) – (22) приняты такие обозначения:

$R_м^{ср}$ – предел сопротивления материала конструкции срезу по контакту материал–полимерраствор;
$F_м^{ср}$ – площадь среза по контакту материал–полимерраствор;
b – ширина штрабы;
h – глубина штрабы.

Экономичность клеевого способа закрепления арматуры в теле конструкции в большей степени зависит от расхода полимерраствора, необходимого для закрепления арматуры в штрабе и в меньшей степени от длины заанкериваемого стержня. Расчеты показывают, что увеличение длины анкеровки стержня $l_{анк}$ в бетонной штрабе с $5d$ до $15d$ при соответствующем уменьшении периметра штрабы уменьшают расход полимерраствора примерно в 2,5 раза. При этом размеры штрабы позволяют создать необходимую величину защитного слоя из полимерраствора и клеевой прослойки вокруг стержня.

Глубина штрабы h конструктивно может быть принята равной $2–3d$, что обеспечивает получение достаточной величины защитного слоя полимерраствора; ширина штрабы b достаточна в пределах $3–6d$. Следовательно оптимальные размеры периметра штрабы находятся в пределах $7–12\ d$.

Пример расчета клеевого закрепления

I. Требуется определить длину клеевой анкеровки арматуры в штрабе.

Материал конструкции – бетон М 200; арматура класса А-III.

Решение: Принимая для бетона М 200 $R_в^{ср} \approx 0{,}15R \approx 30$ кгс/см^2 (3 МПа) и $R_а = 3400$ кгс/см^2 (340 МПа)

по формуле (22), можно определить периметр штрабы ($p_ш = b+2h$):

$$p_ш = b+2h = \frac{R_а \pi d^2}{4 R_в^{ср} l_{анк}} = \frac{3400 \cdot 3{,}14 d^2}{4 \cdot 30\, l_{анк}} = \frac{89 d^2}{l_{анк}} = \frac{89}{n} d, \qquad (23)$$

где $n = \dfrac{l_{анк}}{d}$.

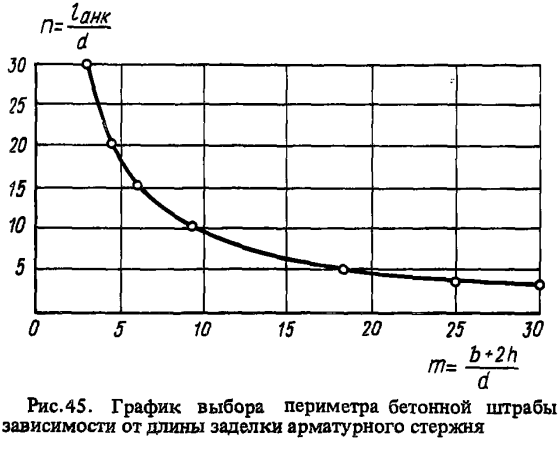


Рис.45. График выбора периметра бетонной штрабы в зависимости от длины заделки арматурного стержня

По формуле (23), задаваясь различной длиной $l_{анк}$ или величиной n, можно получить соответствующие значения периметра штрабы, или

$$m = \frac{p_ш}{d} = \frac{b+2h}{d} = \frac{89}{n},$$

при которых напряжения в арматуре будут соответствовать расчетным значениям (рис.45).

Глубина бетонной штрабы h может быть принята равной $2d$, ширина $b=2d$. Следовательно, периметр штрабы $p_ш=b+2h=6d$. По формуле (22) можно определить $l_{анк}$, при которой напряжения в арматуре соответствуют расчетным:

$$l_{анк} \geq \frac{R_a \pi d^2}{4 R_б^{ср}(b+2h)} = \frac{3400 \cdot 3{,}14\, d^2}{4 \cdot 30 \cdot 6d} = 14{,}8d.$$

Расчетная $l_{анк}$ согласуется с данными рис.45.

П. Требуется определить длину клеевой анкеровки арматуры в штрабе.

Материал конструкции – кладка из глиняного кирпича М 75 на растворе М 50, арматура класса А-II.

Решение: Принимая для кирпичной кладки $R_{кл}^{ср}=5{,}5$ кгс/см^2 (0,55 МПа), $R_a=2700$ кгс/см^2 (270 МПа), глубину штрабы $h=3d$ и ширину $b=4d$ ($p_ш=b+2h=10d$), по формуле (22) определим $l_{анк}$, при которой напряжения в арматуре соответствуют расчетным:

$$l_{анк} \geq \frac{R_a \pi d^2}{4 R_{кл}^{ср}(b+2h)} = \frac{2700 \cdot 3{,}14\, d^2}{4 \cdot 5{,}5 \cdot 10d} = 38{,}5d.$$

5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО КОНСЕРВАЦИИ И РЕСТАВРАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ЗАЩИТНО-КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРРАСТВОРОВ

5.1. При производстве работ по восстановлению монолитности строительных конструкций необходимо проведение следующих видов работ:

ремонт больших и малых отколов бетона и каменных массивов;

инъектирование и ремонт трещин строительных конструкций;

постановка (вклеивание) дополнительной усиливающей арматуры в виде коротышей;

применение склеивающих прокладок при соединении конструкций и элементов.

5.2. Проведение вышеперечисленных работ требует выполнения следующих технологических операций:

приготовление полимерраствора;

подготовка поверхности камня и бетона к нанесению полимерраствора;

подготовка арматурных коротышей к вклеиванию;

устройство штрабы (паза) для вклеивания арматурного коротыша;

расшивка трещин с последующей герметизацией их;

проведение работ по инъектированию трещин и омоноличиванию коротышей полимерраствором;

изготовление склеивающих прокладок;

проведение работ по омоноличиванию стыков с применением склеивающих прокладок.

ПОЛИМЕРРАСТВОРЫ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ И УСИЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ. СОСТАВЫ. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА. НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ

5.3. В качестве исходных компонентов для приготовления полимеррастворов используются следующие материалы:

эпоксидные смолы – смолы ЭД-20 (ЭД-5), ЭД-16 (ЭД-6), Э-40, УП-5-177 и др., а также различные модификации эпоксидных смол.

Эпоксидно-диановая смола ЭД-20 (ЭД-5) (ГОСТ 10587–76) – вязкий термопластичный полимерный продукт. Основные физико-химические свойства: плотность 1,16 г/см^3; средний молекулярный вес 390–430; содержание эпоксидных групп 19,9–22%; содержание общего хлора не более 1%; содержание летучих веществ не более 1%; условная вязкость по шариковому вискозиметру при 25 ^{o}С не более 65.

Эпоксидно-диановая смола ЭД-16 (ЭД-6) (ГОСТ 10587–76) – высоковязкий термопластичный полимерный продукт. Основ-

ные физико-химические свойства: плотность 1,17 г/см^3; среднии молекулярный вес 480–540; содержание эпоксидных групп 16–18; содержание общего хлора не более 0,75%; содержание летучих веществ не более 0,8%; условная вязкость по шариковому вискозиметру при 50^{0}С не более 15–55.

Эпоксидный компаунд К-153 (СТУ-30-14161-64) – вязкая композиция коричневого цвета, состоящая из эпоксидно-диановой смолы ЭД-20, полиэфира МГФ-9 и жидкого тиокола.

Эпоксидно-диановая смола УП-5-177 (ТУ-6-05-241-31-74) – вязкая темная композиция, модифицированная полиэфиром МГФ-9 и наполненная маршалитом.

Отвердители – в качестве отверждающих агентов для эпоксидных полимеррастворов используются отвердители холодного способа отверждения:

полиэтиленполиамин (ПЭПА) (СТУ-49-2529-62);

отвердитель УП-5-179 (ТУ-6-05-241-31-74);

аминофенольный отвердитель АФ-2.

Пластификаторы и модификаторы обеспечивают снижение начальной вязкости эпоксидных смол и улучшение физико-механических характеристик отвержденных композиций. В этих целях могут быть использованы:

дибутилфталат (ДБФ) (ГОСТ 2102–67) – сложный эфир нормального бутилового спирта и ортофталевой кислоты; прозрачная, однородная маслянистая жидкость;

тиоколы жидкие (ГОСТ 12812–72) – низкомолекулярные полисульфидные полимеры, представляющие вязкую однородную жидкость темно-коричневого цвета;

полиэфир МГФ-9 (ТУМХП № 64-17-56) – продукт поликонденсации метакриловой кислоты, фталевого ангидрида и триэтиленгликоля; жидкость желтовато-коричневого цвета;

каменноугольный лак (ГОСТ 1709–75).

Наполнители вводят для улучшения физико-механических свойств эпоксидных композиций, для получения необходимой вязкости, изменения коэффициента температурного расширения, уменьшения усадки при отверждении и снижения стоимости. В качестве наполнителей могут быть использованы: кварцевый песок средней крупности (ГОСТ 6139–78); кварц молотый (ГОСТ 9077–59); тальк; портландцемент (ГОСТ 10178–76); графит; аэросил; маршалит.;

5.4. При проведении работ по реставрации и консервации различных сооружений с помощью полимерных материалов рекомендуется использовать высокопрочные эпоксидные полимеррастворы, составы которых приведены в табл.6. Тип состава эпоксидного полимеррастворa выбирается в зависимости от характера проводимых работ (адгезионная обмазка при усилении конструкций бетоном и железобетоном, инъекция трещин полимеррастворoм, закрепление дополнительной арматуры в теле конструкции, соединение отдельных элементов конструкций

Составы защитно-конструкционных полимеррастворов

Таблица 6

Компонент	Содержание компонентов, мас.ч., в составах №														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Базовый компонент:															
ЭД-16	100	100	100	100	–	–	100	100	100	–	–	–	100	–	–
ЭД-20	–	–	–	–	100	100	–	–	–	100	–	–	–	100	–
УП-5-177	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100	100	–	–	–
ФАЭД	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
Пластификаторы (модификаторы):															
дибутилфталат	20	20	20	20	10	–	20	–	20	10	–	–	20	10	10
полиэфир МГФ-9	–	–	–	–	–	10	–	20	–	–	–	–	–	–	–
жидкий тиокол НВА	–	–	–	–	–	20	–	–	–	–	–	10	–	–	–
силановый аппрет	–	–	–	5	–	5	–	–	–	–	3	–	–	–	3
Отвердители:															
полиэтиленполиамин	10	10	10	10	20	20	10	10	10	20	–	–	–	20	10
УП-5-179	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10	10	–	–	–
АФ-2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30	–	–
БСК	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10
Наполнители:															
кварцевый песок	–	200	400	600	400	400	–	400	200	200	–	–	300	–	200
молотый кварцевый песок	–	–	–	–	–	–	400	–	–	–	–	–	–	–	150
портландцемент	–	–	–	–	–	–	–	–	200	200	–	200	–	–	–

и т.п.); в зависимости от технологических особенностей и конкретных условий выполнения работ; вида используемого оборудования; характера эксплуатационных воздействий и др.

5.5. Физико-механические свойства эпоксидных полимеррастворов – прочностные и деформативные характеристики, технологическая жизнеспособность, вязкость, атмосферо-, водо-, морозостойкость, химическая стойкость и др. – зависят от вида и количественного содержания составляющих, входящих в многокомпонентную структуру полимеррастворa.

5.6. Основные физико-механические характеристики рекомендуемых составов полимеррастворов приведены в табл.7. Данные таблицы характеризуют эпоксидные полимеррастворы как материалы, обладающие повышенными прочностными характеристиками как при сжатии, изгибе, так и при растяжении.

5.7. Количество и вид отвердителя в составе композиции оказывают влияние как на интенсивность и полноту отверждения полимеррастворa, так и на его механическую прочность. Выбор оптимального количества отвердителя зависит от конкретных условий, таких, как эксплуатационные воздействия, вид напряженного состояния, температура и влажность среды, количество и вид наполнителя и др. Избыток отвердителя, равно как и его недостаток, резко отражается на свойствах конечного продукта.

Зависимость когезионной прочности эпоксидного полимеррастворa от количества отвердителя представлена на рис.46. Оптимальное количество отвердителя – полиэтиленполиамин (ПЭПА) – для эпоксидных смол ЭД-16 и ЭД-20 находится соответственно в пределах 10–15 и 20–30 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы; отвердителя АФ-2 в пределах 30–40 мас.ч. на 100 мас.ч смолы ЭД-16; отвердителя УП-5-179 в пределах 10–15 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы УП-5-177.

5.8. Непластифицированные эпоксидные композиции в неотвержденном состоянии обычно характеризуются повышенной вязкостью, а при отверждении обладают значительной хрупкостью, высоким коэффициентом линейного расширения, малой жизнеспособностью. Для улучшения свойств и качеств полимеррастворa в его состав вводят различные пластифицирующие и модифицирующие компоненты.

5.9. Зависимость прочности полимеррастворa от количества пластификатора (модификатора) представлена на рис.47, из которого следует, что оптимальное количество пластификатора для полимеррастворов на основе смол ЭД-20 и УП-5-177 находится в пределах 5–15 мас.ч , а для полимеррастворов на основе смолы ЭД-16 – 10–25 мас.ч на 100 мас.ч смолы.

5.10. На физико-механические свойства полимеррастворa значительное влияние оказывает наполнитель. В каждом конкретном случае вид и количество наполнителя устанавливается, исходя из технических, технологических и экономических

Таблица 7

Физико-механические свойства защитно-конструкционных полимеррастворов (t =30 сут)

№ состава по табл.6	Кубиковая прочность, МПа	Призменная прочность, МПа	Прочность при растяжении, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Модуль упругости при растяжении, $E_р \cdot 10^{-3}$ МПа	Модуль упругости при сжатии, $E_с \cdot 10^{-3}$ МПа
1	2	3	4	5	6	7
1	71,7	65,8	36,5	51,5	2,4	2,06
2	49,8	46,8	14,6	36,8	6,1	4,17
3	62	54,2	13,2	32,7	9,97	8,72
4	51,6	48,2	10,3	28	12,4	11,8
5	62,3	54,8	11,8	34,5	14,8	11,3
6	67,3	63,6	–	–	–	9,65
7	67,2	61,6	–	–	–	9,42
8	65,7	62,4	–	–	–	9,85
9	63,2	55,3	–	–	–	9,13
10	64,1	56,4	–	–	–	10,8
11	69,8	61	–	–	–	3,1
12	45,6	42,1	–	–	–	3,6
13	61	56,2	–	–	–	12,1
14	75,8	71,2	41,3	52	2,8	2,7
15	66,3	61,2	10,7	21,1	9,1	8,6

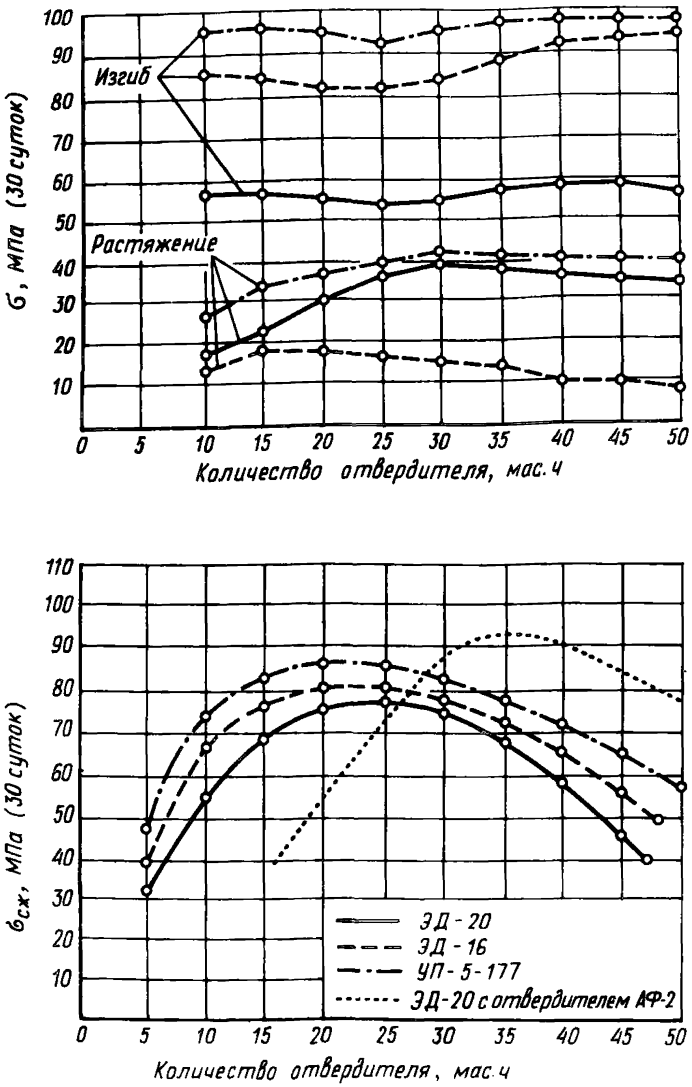


Рис.46. График подбора состава ЗКП в зависимости от когезионной прочности при изменении количества отвердителя

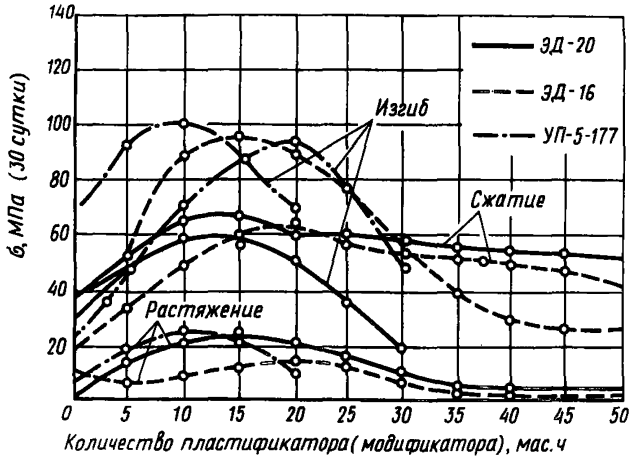


Рис.47. График подбора состава ЗКП в зависимости от когезионной прочности при изменении количества пластификатора

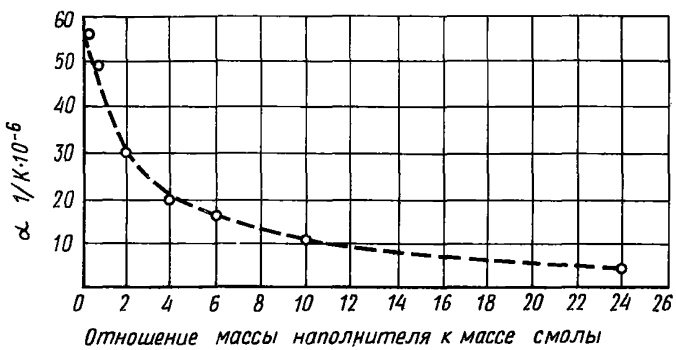


Рис.48. График подбора состава ЗКП в зависимости от коэффициента линейного расширения

требований, прочности, усадки, коэффициента линейного расширения, вязкости, стоимости композиции и др. Выравнивание коэффициентов линейного расширения полимерраствора и материала конструкции достигается введением соответствующего количества наполнителя (рис.48). Введение наполнителя в полимерраствор снижает также усадочные деформации, увеличивает модуль упругости, уменьшает расход смолы, позволяет регулировать вязкость композиции. Зависимость прочности

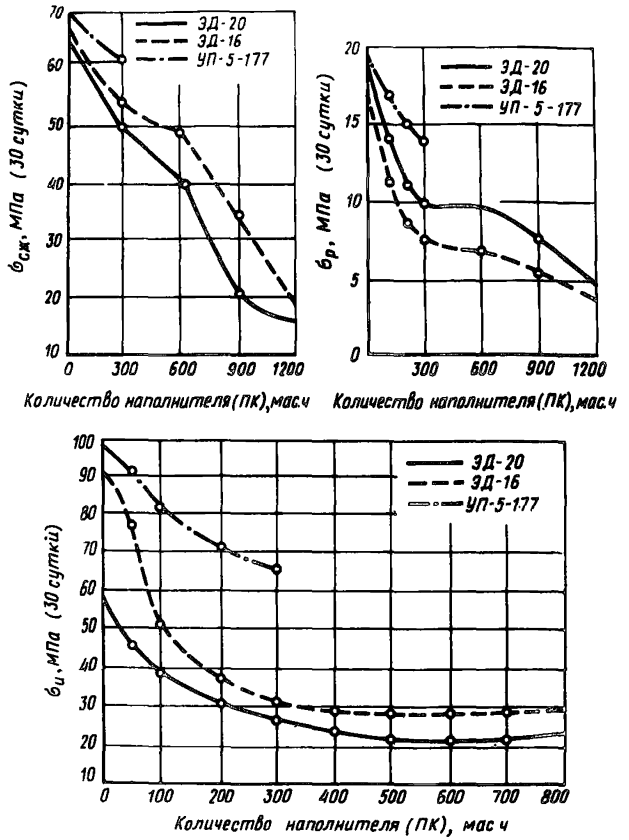


Рис.49. График подбора состава ЗКП в зависимости от когезионной прочности при изменении количества наполнителя

полимеррастворa от количества наполнителя (кварцевого песка) представлена на рис.49.

5.11. Прочностные характеристики полимеррастворов определяются не только содержанием в полимеррастворе синтетического вяжущего, отвердителя, наполнителя и пластификатора, но и зависят от воздействия таких факторов, как условия отверждения, атмосферные воздействия, попеременное замораживание и оттаивание, влияние водной среды и т.п.

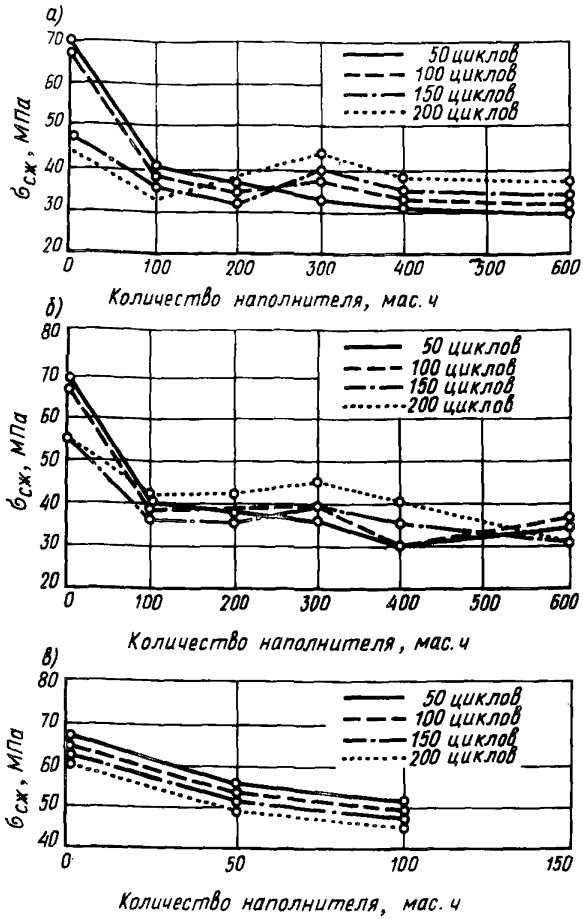


Рис.50. Морозостойкость полимеррастворов в зависимости от количества наполнителя (ПК)
а – смола ЭД-20; *б* – смола ЭД-16; *в* – смола УП-5-177

5.12. Влияние циклического замораживания и оттаивания, атмосферных воздействий на прочностные показатели эпоксидных компаундов на основе смол ЭД-20, ЭД-16 и УП-5-177 с различным содержанием наполнителя (0–600 мас.ч на 100 мас.ч смолы) приведена на рис.50. Введение наполнителя благотворно влияет на морозостойкость эпоксидных компаундов и приводит к стабилизации прочностных показателей на уровне

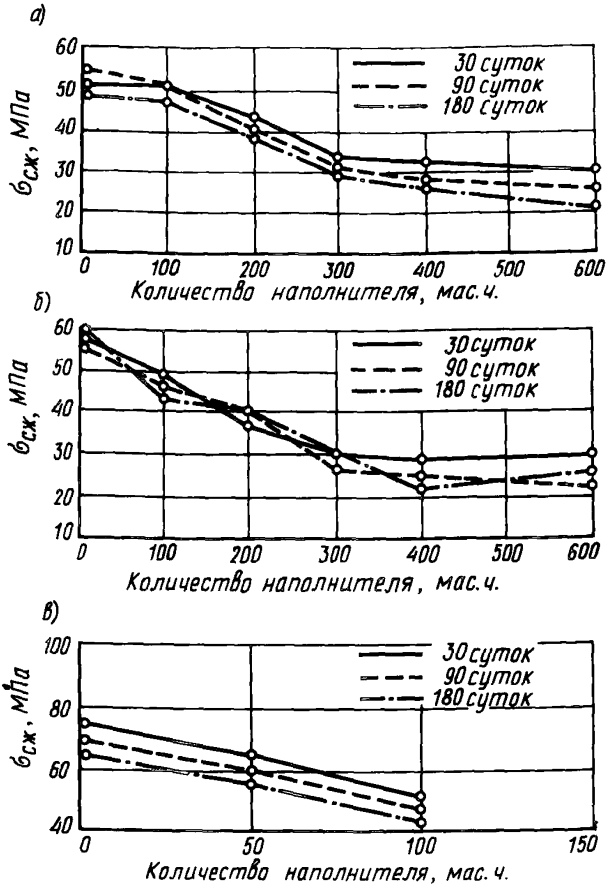


Рис.51. Атмосферостойкость полимеррастворов в зависимости от количества наполнителя (ПК)
а – смола ЭД-20; *б* – смола ЭД-16; *в* – смола УП-5-177

исходных. Эпоксидные полимеррастворы обладают также хорошей атмосферостойкостью; заметного снижения прочности при воздействии атмосферных условий не наблюдается (рис.51).

5.13. Водостойкость полимеррастворов зависит от многих причин и в первую очередь от состава и вида смолы. Эпоксидные полимеррастворы характеризуются повышенной устойчивостью к длительному воздействию воды (табл.8).

Таблица 8

Водостойкость эпоксидных полимеррастворов

№ состава по табл. 6	Прочность при сжатии, МПа					
	в момент погружения в воду (t = 10 сут)	при выдерживании в воде, сут				
		15	30	60	90	150
1	60,1	70,2	76,1	77,2	79,3	82,3
2	42,1	46,8	51,1	52,4	50,4	53,1
3	46,3	45,4	42,3	44,5	47,2	49,4
4	41,4	39,8	37,6	36,4	38,5	40,9
11	61,2	64,3	68,5	70,3	69,5	72,4
13	45,8	51,8	54,5	52,3	53,2	55,6

5.14. Оптимальная вязкость полимеррастворa выбирается в зависимости от условий его применения. Зависимости вязкости полимеррастворa от количества составляющих композиции, приведенные на рис. 52, позволяют получить исходные данные с целью подбора оборудования для нанесения и приготовления полимеррастворов, а также установления оптимальных технологических параметров.

5.15. На адгезионную прочность (прочность клеевого соединения) существенное влияние оказывает ряд таких факторов,

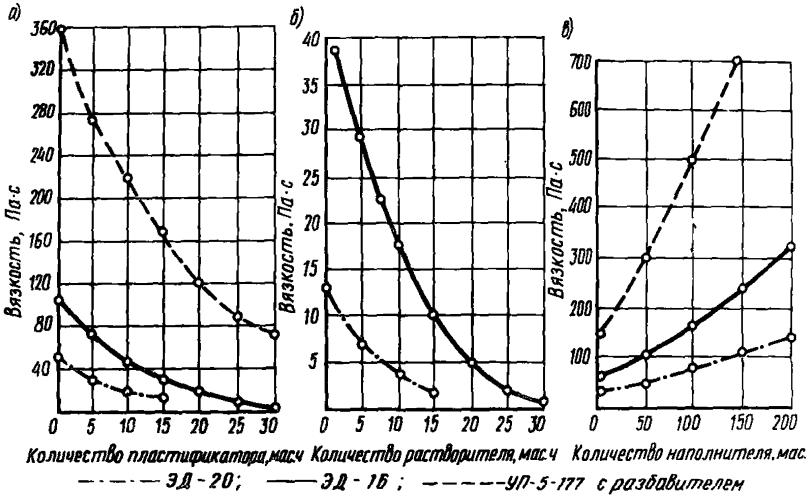


Рис. 52. Вязкость полимеррастворов в зависимости от количества
а – пластификатора; *б* – растворителя; *в* – наполнителя

как состав полимерраствора, условия отверждения, степень подготовки склеиваемых поверхностей, вид напряженного состояния, условия эксплуатации, внешние воздействия и др.

5.16. Данные об атмосферо-, водо-, морозостойкости клеевых соединений бетона, приведенные в табл.9, свидетельствуют, что прочность соединений бетона на эпоксидных полимеррастворах при длительном хранении в атмосфере, водной среде, циклическом замораживании и оттаивании обусловливается прочностью монолитного сечения бетона (камня).

Таблица 9

Атмосферо-, водо-, морозостойкость полимерраствoрных соединений

Вид испытания	Продолжительность испытаний, сут	Результаты испытаний	
		разрушающее напряжение сдвига, МПа	разрушение по массиву, %
1	2	3	4
Лабораторное хранение	0	–	–
	10	4,1	100
	150	3,4	100
Атмосферные условия	0	4,1	100
	10	4,0	100
	150	6,1	100
Водное хранение	0	4,1	100
	10	4,1	100
	150	7,6	100
Попеременное замораживание и оттаивание	0	4,1	100
	10	2,8	100
	150	Разрушился бетон	–
Отверждение в водной среде (состав 2 по табл.6)	0	–	По контакту бетон–полимерраствор
	10	1,8	
	360	2,5	
То же (состав 12 по табл.6)	0	–	–
	10	3,3	100
	360	5,4	100
То же (состав 13 по табл.6)	0	–	–
	10	4,1	100
	360	6,3	100

5.17. При омоноличивании элементов конструкций во влажной (водной) среде рекомендуется использовать эпоксидные полимеррастворы на базе смолы УП-5-177, а также смолы ЭД-20 и ЭД-16 при использовании аминофенольного отвердителя АФ-2.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПОЛИМЕРРАСТВОРОВ

5.18. Приготовлению эпоксидных полимеррастворов должна предшествовать проверка соответствия ТУ всех исходных компонентов, а также их предварительная подготовка.

5.19. Подготовка компонентов заключается в следующем:

сушке эпоксидной смолы (ЭД-20 и ЭД-16) для удаления из нее влаги и других примесей. Сушка осуществляется при $t = 100–150^{\circ}C$ до прекращения выделения газовых пузырьков в водяной бане с обеспечением удаления выделяющихся газообразных продуктов;

предварительной пластификации эпоксидной смолы путем введения в нее по весу в соответствии с выбранной рецептурой того или иного пластификатора. Пластификация смолы ЭД-20 производится при комнатной температуре (не ниже $+10^{\circ}C$), а смолы ЭД-16 при нагреве ее до $t = 40–55^{\circ}C$. Оба компонента тщательно перемешиваются до получения однородной смеси;

подготовке наполнителя, состоящей в его сушке, очистке от инородных примесей, просеивании, промывке и при необходимости – измельчении. Сушка наполнителей производится в термостате при $t = 150–200^{\circ}C$ при периодическом его перемешивании. Удаление инородных примесей из наполнителя происходит за счет их выгорания и при просеивании через стандартные сита.

5.20. Технология приготовления полимеррастворов состоит в последовательном введении в полимерное связующее рецептурного количества пластификатора (если не проводилась предварительная пластификация), отвердителя, разбавителя, наполнителя.

5.21. При введении каждого компонента смесь тщательно перемешивается. Время перемешивания полимеррастворной композиции зависит от вида и количества исходных компонентов, от способа приготовления и объема смеси.

5.22. Перемешивание полимеррастворa может осуществляться вручную либо с помощью электромешалки. Смеси объемом до 5 л рекомендуется перемешивать вручную с помощью шпателей в плоском сосуде типа полусферы из резины или типа противня из металла.

5.23. Расчет необходимого количества полимеррастворa должен производиться из условия использования всего объема приготовленного полимеррастворa за время его технологической жизнеспособности. Ввиду того, что время технологической жизнеспособности полимеррастворов ограничено, для полного его использования необходимо иметь заранее приготовленный фронт работ.

5.24. При проведении реставрации каменных и бетонных конструкций основной характеристикой, влияющей на качественное проведение работ, является адгезионное сцепление старого массива сооружения с вновь укладываемым материалом.

5.25. Для успешного применения полимерраствора ремонтируемая поверхность должна быть прочной, сухой и чистой (свободной от пыли, масла и различных загрязнений). Попытки получения хорошей адгезии на слабой поверхности обречены на неудачу, так как разрушение обычно происходит именно на поверхности.

5.26. Для обеспечения прочного сцепления весь рыхлый и непрочный материал убирается с поверхности, подлежащей ремонту.

Пыль и обломки бетона и камня удаляются с ремонтируемой поверхности продувкой сжатым воздухом, промывкой воды, при помощи щетки.

5.27. Если ремонтируемая поверхность достаточно прочная, то ее подвергают очистке с целью устранения пыли и различных жировых включений, снижающих адгезию эпоксидного полимерраствора к бетону.

5.28. Различают два способа очистки поверхностей: механический и химический.

5.29. Механический способ заключается в обработке поверхности различными инструментами.

Химический способ состоит в обработке поверхности слабыми растворами кислот или другими веществами.

5.30. Поверхности с обычной степенью загрязнения пылью или грунтом (но не машинным маслом или тавотом) очищают путем непосредственной промывки раствором, состоящим из одной части соляной кислоты (36%) и четырех частей воды. Норма расхода – 3 л на 1 м^2. Очистка поверхности может производиться 10%-ным раствором каустической соды с последующей обработкой металлическими щетками и промывкой сильной струей воды. После этого поверхность просушивают. При работе с растворами для травления необходимо соблюдать обычные правила техники безопасности – работы производятся в защитных очках, фартуках и резиновых перчатках.

5.31. Необходимость обработки поверхности арматурного коротыша перед вклейкой в подготовленную соответствующим способом штрабу обусловлена основным правилом адгезии – полимерраствор должен смачивать поверхность субстрата. Незначительное количество масляных включений существенно снижает величину сцепления.

С поверхности металла следует удалять продукты коррозии, так как прочность соединения может быть ограничена связями между металлом и коррозионной пленкой.

5.32. Способы обработки поверхности арматурных коротышей подразделяются на механические и химические способы. Механические способы – очистка следов коррозии стальной щеткой с последующим обезжириванием ацетоном; опескоструивание с последующим обезжириванием ацетоном.

К химическим способам относятся травление в 20%-ном растворе серной кислоты с добавкой 1%-ного уротропина и последующей обработкой ацетоном (самый эффективный способ); травление в 10%-ном растворе соляной кислоты с добавкой 1%-ного уротропина и последующей обработкой ацетоном.

5.33. Химический способ подготовки поверхности арматурных коротышей к вклеиванию является наиболее рациональным, так как позволяет заготовлять значительные партии арматуры одновременно.

5.34. Схема обработки стержней приведена в табл.10.

Таблица 10

Поверхности чистые, отсутствие коррозии, наличие масляных включений	Поверхности корродированные с наличием масляных включений	Поверхности кородированные со следами загрязнения
Обезжиривание поверхностей ацетоном	Обработка коротышей в ванне при 20°С в течение 0,5–1 часа	Очистка металлическими щетками Травление
	Состав, % *HCl* – 20 уротропин – 1 дистиллированная вода – 79	Состав, % *HCl* – 20 уротропин – 1 дистиллированная вода – 79
	Последующее обезжиривание ацетоном	Последующее обезжиривание ацетоном

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО РЕСТАВРАЦИИ И УСИЛЕНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

5.35. Ремонт повреждений строительных конструкций, связанных с отколами крупных размеров, производится путем нанесения при помощи кисти адгезионной обмазки (состав 1, 11, 14, табл.6) на ремонтируемую поверхность с дальнейшим добетонированием повреждений бетоном либо раствором, имитирующим каменный массив, одинаковым по своим прочностным характеристикам с материалом, из которого изготовлена конструкция (рис.53).

5.36. Добетонирование должно производиться не позднее потери полимерраствором склеивающей способности. Момент потери склеивающей способности рекомендуется определять по

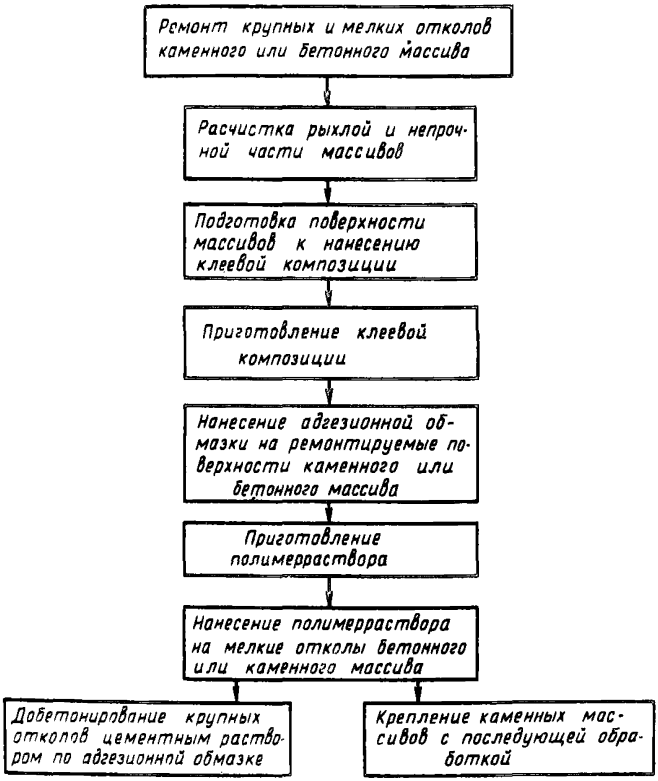


Рис. 53. Схема операций при ремонте отколов

наступлению отлипа, когда какой-либо предмет, касаясь поверхности полимерраствора, не прилипает.

5.37. Отремонтируемую поверхность следует выдерживать при температуре не ниже 10^{0}С не менее двух суток.

5.38. Ремонт мелких отколов производится путем нанесения полимерраствора (составы 2, 4 или 10, 12, табл. 6) непосредственно на бетонную или каменную поверхность, подготовленную соответствующим образом. При этом необходимо также предварительное нанесение адгезионной обмазки на ремонтируемую поверхность.

5.39. Работа по вклеиванию арматурных коротышей осуществляется пооперационно (рис. 54).

После разметки мест постановки дополнительной арматуры путем вырезки участка массива осуществляется устройство штрабы (паза).

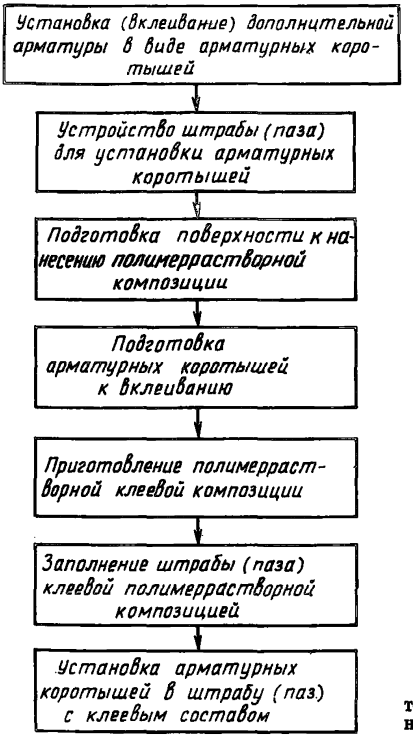


Рис. 54. Пооперационная технологическая схема установки коротышей

Вырезку участка массива можно сделать при помощи алмазных дисков марки АД-250, прикрепленных к переносной циркулярной пиле.

5.40. После устройства паза осуществляется подготовка поверхности и арматурных коротышей к нанесению клеевого полимерраствора. Подготовленную соответствующим образом штрабу заполняют полимерраствором до уровня установки арматуры, устанавливают арматуру и заполняют штрабу полимерраствором полностью. В случае установки дополнительной арматуры в бетонном массиве на вертикальных либо потолочных поверхностях необходимо предусмотреть различного рода фиксирующие устройства (фиксация арматурного коротыша в проектное положение, фиксация полимерраствора на вертикальной поверхности).

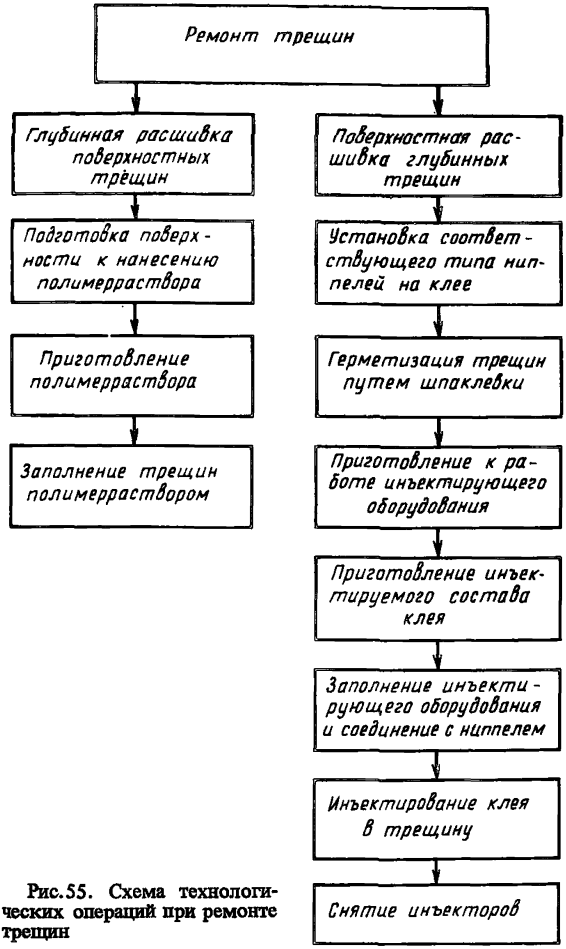


Рис.55. Схема технологических операций при ремонте трещин

5.41. При проведении работ по ремонту трещин (рис.55) строительных конструкций и элементов следует применять следующие способы:

ремонт поверхностных трещин осуществляется путем расшивки последних с дальнейшим заполнением образовавшейся полости полимеррастворoм состава 1 или 11 (табл.6). Полимеррастворoм следует наносить после подготовки поверхности;

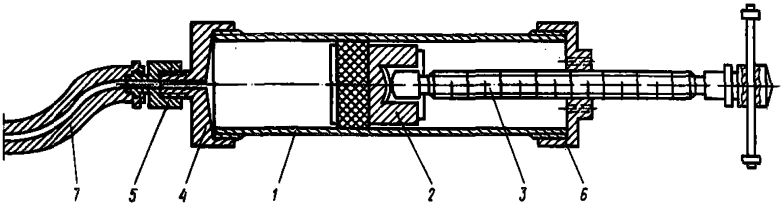


Рис. 56. Шприц-инъектор ОИСИ для нагнетания полимерраствора в трещины

1 – цилиндр; *2* – поршень с резиновым уплотнителем; *3* – шток поршня; *4* – передняя крышка; *5* – накидная гайка; *6* – задняя крышка; *7* – гибкий шланг к инъектору, закрепляемому на трещине

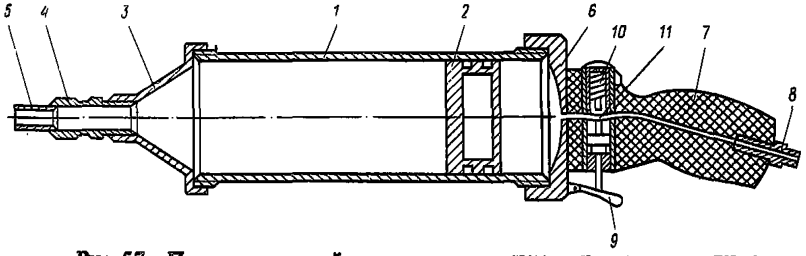


Рис. 57. Пневматический пистолет для нанесения и инъектирования полимерраствора

1 – цилиндр; *2* – поршень; *3* – передняя крышка; *4* – наконечник; *5* – мундштук; *6* – задняя крышка; *7* – ручка; *8* – штуцер; *9* – скоба; *10* – пружина; *11* – канал для поступления воздуха

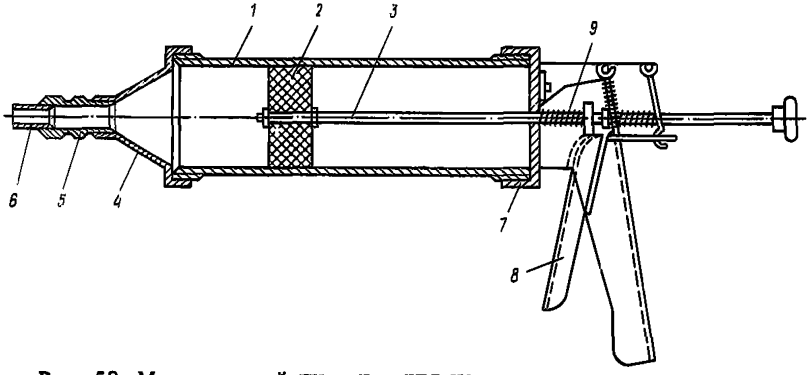


Рис. 58. Механический пистолет для нанесения и инъектирования полимерраствора в трещины

1 – цилиндр; *2* – поршень; *3* – стержень; *4* – передняя крышка; *5* – наконечник; *6* – мундштук; *7* – задняя крышка; *8* – курок ручки; *9* – пружина

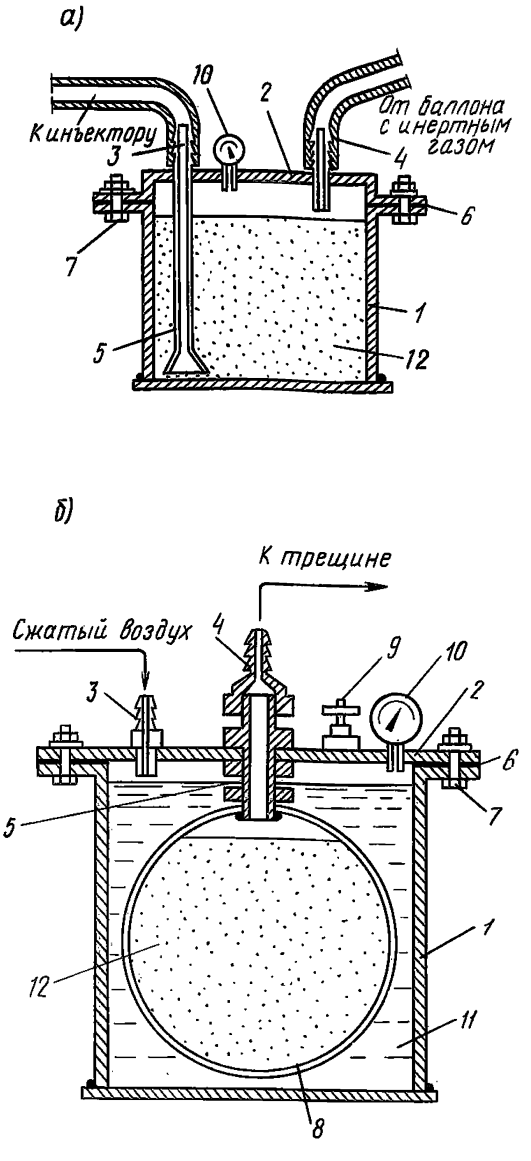


Рис. 59. Пневматические устройства для подачи полимерраствора при инъектировании трещин в строительных конструкциях

а – ОИСИ; *б* – ТбилЗНИИЭП *1* – корпус; *2* – крышка; *3, 4* – штуцеры (подачи сжатого воздуха и выходной); *5* – патрубок (трубка); *6* – резиновая прокладка; *7* – болт; *8* – резиновая емкость; *9* – вентиль для сброса давления; *10* – манометр; *11* – вода; *12* – полимерраствор

ремонт глубинных трещин производится путем инъектирования эпоксидного клея в трещину (состав 1, 14, табл.6).

5.42. Инъектирование производится следующим образом:

ремонт трещин с шириной раскрытия от 0,2 до 3 мм, глубиной 20 см и протяженностью до 100 см осуществляется путем нагнетания клея из шприца (рис.56), соединенного гибким шлангом с нагнетательной трубкой (ниппелем). Тип нагнетательных трубок выбирается в зависимости от вида и характера трещины (до 2 мм – поверхностные нагнетательные трубки, свыше 2 мм – глубинные нагнетательные трубки).

По длине трещины на расстоянии 40–60 см (при прямом участке) и 20–40 см (при извилистом участке) устанавливаются нагнетательные трубки путем приклеивания (поверхностные) либо вклеивания (глубинные).

Участки трещины между нагнетательными трубками шпаклюются полимерраствором состава 3 или 4 (табл.6). После отверждения шпаклевочного состава к первой нагнетательной трубке присоединяются шприц-инъектор и производится нагнетание клея до появления последнего в соседнем ниппеле. После этого первая трубка закрывается и аналогичный процесс повторяется через вторую нагнетательную трубку. Для инъекции трещин может быть также использовано оборудование, приведенное на рис. 57–59.

ПРИМЕНЕНИЕ СКЛЕИВАЮЩИХ ПРОКЛАДОК ИЗ ЗАЩИТНО-КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРРАСТВОРОВ

5.43. При проведении реставрационно-восстановительных работ особое внимание следует уделять методу соединения элементов и конструкций.

Одним из прогрессивных видов склеивающих агентов является изготавливаемая промышленным способом из высоконаполненных полимерных составов склеивающая прокладка.

5.44. Склеивающая прокладка представляет собой клеевой агент, выполненный в виде пластинки заданных геометрических размеров из высоконаполненной клеевой композиции на основе жидких эпоксидных смол ЭД-16 или ЭД-20. Одним из основных свойств клеевой прокладки является способность ее деформироваться в момент нагружения и тем самым создавать условия для перераспределения местных концентрированных напряжений.

5.45. Применение склеивающих агентов такого типа позволяет:

создавать клеевое соединение, не уступающее существующим неразъемным соединениям в традиционном исполнении;

осуществлять склеивание строительных конструкций и элементов при реставрации зданий и сооружений практически из

любых строительных материалов с заданной и регулируемой продолжительностью процесса омоноличивания;

создавать сопряжения элементов и конструкций с равномерной передачей усилий с одного элемента на другой, что способствует полному использованию их прочностных возможностей при действии статических и динамических нагрузок, что чрезвычайно важно при реставрационных работах;

не нарушать структуры материала пристыковой зоны сопрягаемых элементов;

создавать клеевое соединение, обеспечивающее коррозионную стойкость и герметичность швов без применения специальных мероприятий.

5.46. Склеивающие прокладки предназначаются для омоноличивания горизонтальных стыков элементов и конструкций. Применение таких прокладок в вертикальных стыках конструкций целесообразно в случае обеспечения их обжатия с удельным давлением 0,5 кгс/см^2.

5.47. Склеивающие прокладки рекомендуется применять для омоноличивания (рис.60):

стыков каменных блоков-монолитов с различными поверхностями опирания;

стыков с опиранием элементов без выпуска арматуры;

стыков с опиранием элементов с выпуском арматуры;

стыков элементов, вставляющихся друг в друга (стаканного типа);

стыков элементов комбинированного типа.

5.48. При расчете прокладки рассматриваются две основные схемы:

когда склеивающая прокладка располагается между элементами, один из которых имеет идеально ровную контактирующую поверхность, а другой — поверхность с выпуклостями и впадинами (рис.61);

когда склеивающая прокладка располагается между двумя элементами, каждый из которого имеет неровную контактирующую поверхность (рис.62).

Физические свойства прокладки принимаются такими же, как в известной модели упругого основания Власова-Леонтьева.

Количественно свойства указанной модели определяются несколькими параметрами, характеризующими работу упругого основания на сжатие и на сдвиг. Величины этих параметров зависят от модуля нормальной упругости E и коэффициента Пуассона ν рассматриваемой среды, а также принятого закона ψ распределения вертикальных перемещений упругого основания по его высоте.

Наиболее благоприятные условия передачи усилий через стык будут иметь место при одновременном выполнении таких двух неравенств: $\delta < H$ и $\delta \geq h$.

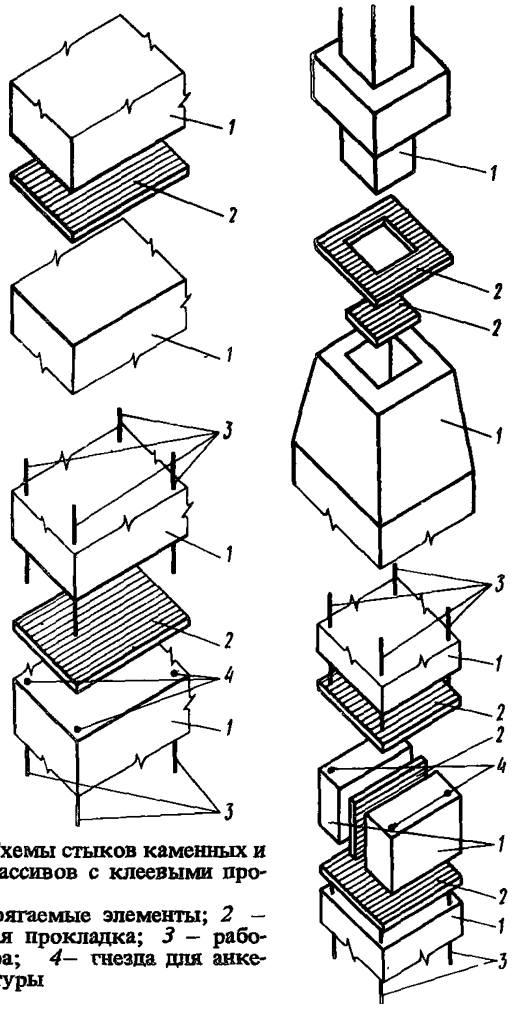


Рис. 60. Схемы стыков каменных и бетонных массивов с клеевыми прокладками

1 – сопрягаемые элементы; *2* – склеивающая прокладка; *3* – рабочая арматура; *4*– гнезда для анкеровки арматуры

Судить о модуле упругости склеивающей прокладки можно на основании проведенных исследований. Их анализ показал, что при оптимальных условиях (состав и возраст прокладки, режим склеивания и т.д.) модуль упругости прокладки колеблется в пределах 4,2–4,4 кгс/см^2.

Известно, что для материалов, совершенно не изменяющих свой объем при деформации, коэффициент Пуассона равен 0,5. В таких условиях находится, например, клеевая прокладка, изготовленная из каучукового клея. Склеивающая прокладка,

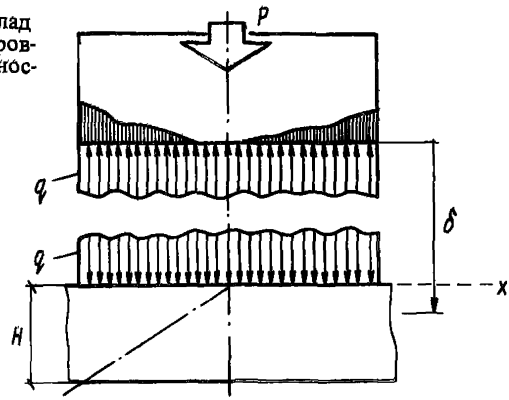


Рис. 61. Клеевая прокладка между массивами с ровной и неровной поверхностями контакта

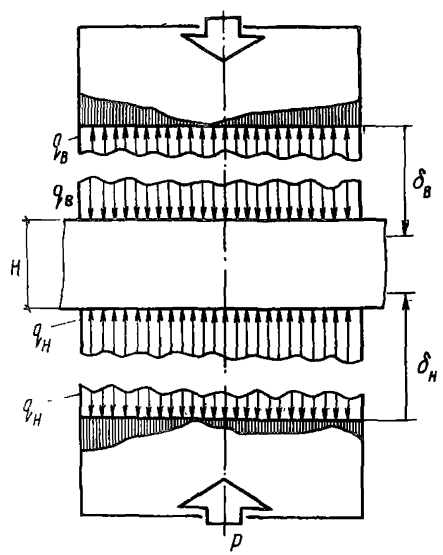


Рис. 62. Клеевая прокладка между массивами с неровными поверхностями контакта

изготовленная из высоконаполненной клеевой композиции на основе жидких эпоксидных смол, в процессе монтажа изменяет свой объем, но очень незначительно, поэтому коэффициент Пуассона таких прокладок колеблется в пределах 0,35–0,4.

Расчет склеивающей прокладки, располагающейся между элементами с ровной и элементом с неровными поверхностями контакта

Принятые обозначения:

Ω – площадь контакта;
∇^2 – оператор Лапласа;

$W(x,y)=W(x,y,z)/\Psi(z)$, где $\Psi(z)$ – функция распределения нормальных перемещений $W(x,y)$ точек прокладки по ее толщине;

$\zeta(x,y)$ – функция, характеризующая нижнюю поверхность штампа;

P – величина передаваемого через стык усилия;

$q(x,y)$ – нормальные напряжения на поверхности контакта;

δ – величина вдавливания штампа в прокладку;

H – толщина склеивающей прокладки;

h – расстояние между наиболее выступающей точкой некоторой поверхности контакта элемента и точкой, расположенной на дне ее самой глубокой вогнутой части;

$E_{пр}$ – модуль упругости прокладки;

$\nu_{пр}$ – коэффициент Пуассона прокладки;

k – коэффициент, определяющий величину реакции, развиваемой столбиком клея, выделенным из слоя при его единичной деформации;

t – коэффициент, определяющий величину реакции, развиваемой за счет взаимодействия таких столбиков между собой;

m,n – некоторые постоянные, характеризующие угол наклона к горизонтальной плоскости контактирующей поверхности;

p,q – некоторые постоянные, характеризующие криволинейность параболической контактирующей поверхности по отношению к горизонтальной плоскости;

S – площадь горизонтального сечения штампа;

$\max q, \min q$ – экстремальные значения (величины) давления, возникающие на поверхности контакта;

i,j – целочисленное количество полуволн "гармонической" поверхности по абсциссе и ординате контактирующей поверхности;

d – амплитуда гармонических неровностей поверхности контакта.

Используемые уравнения.

Условие равновесия штампа:

$$+P-\int_{\Omega} q(x,y)\,dx\,dy = 0;$$

условие состояния слоя:

$$q(x,y) = kW(x,y) - 2t\nabla^2 W(x,y);$$

условие неразрывности на поверхности контакта

$$W(x,y)\Psi(0) = \delta - \zeta(x,y).$$

Решение этих уравнений приводит к следующим расчетным формулам:

$$k = \frac{E_0}{(1-\nu_0^2)H}; \qquad t = \frac{E_0 H}{12(1+\nu_0)};$$

$$E_o = \frac{E_{пр}}{1-\nu_{пр}^2}\ ; \qquad \nu_o = \frac{\nu_{пр}}{1-\nu_{пр}}\ .$$

А. Штамп имеет размер $2a \times 2b$ и нижний косой срез

$$\zeta(x,y) = m(x-a) - n(y-b);\quad \delta = \frac{P}{kS} + (ma+nb);$$

$$\max q = q(a,b) = \frac{P}{S} + k(ma+nb);$$

$$\min q = q(-a\ -b) = \frac{P}{S} - k(ma+nb).$$

Б. Штамп имеет размер $2a \times 2b$ и нижнюю параболическую торцевую поверхность (рис.63):

$$\zeta(x,y) = px^2 + qy^2;$$

$$\delta = \frac{P}{kS} + \frac{1}{3}(pa^2+qb^2) - \frac{2t}{k} 2(p+q);$$

$$\max q = q(a,b) = \frac{P}{S} + k\frac{1}{3}(pa^2+qb^2);$$

$$\min q = q(\pm a, \pm b) = \frac{P}{S} - k\frac{2}{3}(pa^2+qb^2).$$

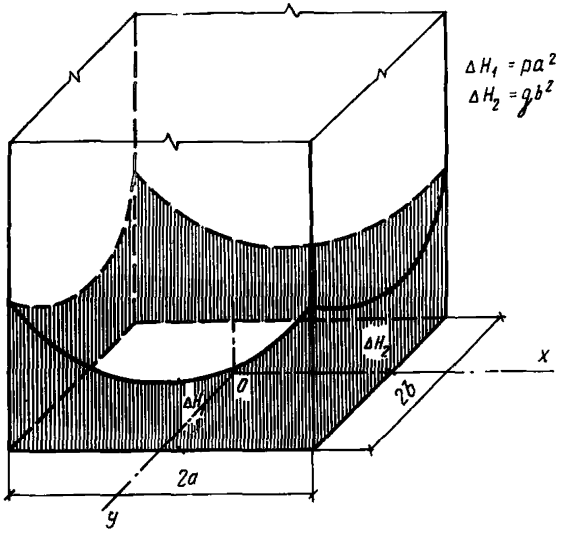


Рис.63. Контактная шлоскость каменных и бетонных массивов вида "параболическая поверхность"

В. Штамп размером $2a \times 2b$ и его торцевая поверхность имеет гармонические неровности, характеризующиеся функцией (рис. 64, 65):

$$\zeta(x,y) = d\left(1 + \cos\frac{i\pi x}{2a}\cos\frac{j\pi y}{2b}\right);$$

$$\delta = \frac{P}{S} + d + \left(1 - \frac{1}{ij}C_{ij}\sin\frac{i\pi x}{2}\sin\frac{j\pi y}{2}\right);$$

$$\max q = \frac{P}{S} + D_{ij};\quad \min q = \frac{P}{S} - D_{ij},$$

где

$$D_{ij} = dk\frac{\pi^2}{2}C_{ij};\qquad C_{ij} = \frac{4}{\pi^2} + \frac{2t}{k}\left(\frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2}\right).$$

Расчет склеивающей прокладки, располагающейся между двумя элементами с неровными поверхностями контакта.

Принятые обозначения:

$\mathcal{R}$ – площадь контакта;

∇^2 – оператор Лапласа;

$\Psi_1(z), \Psi_2(z)$ – две функции с линейно независимыми производными, описывающие характер изменения нормальных перемещений точек прокладки (вдоль оси z) по ее толщине:

$$W(x,y,z) = W_1(x,y)\Psi_1(z) + W_2(x,y)\Psi_2(z);$$

$\zeta_н(x,y), \zeta_в(x,y)$ – функции, характеризующие нижнюю и верхнюю поверхности контакта;

P – величина передаваемого через стык усилия;

$q_н(x,y), q_в(x,y)$ – нормальные напряжения, возникающие на нижней и верхней поверхности контакта;

$\delta_н, \delta_в$ – величины вдавливания штампов нижнего и верхнего элементов в прокладку;

H – толщина склеивающей прокладки;

$h_н, h_в$ – расстояние между наиболее выступающими точками некоторых (верхней и нижней) поверхностей контакта элемента и точкой, расположенной на дне ее самой глубокой вогнутой части;

$E_{пр}$ – модуль упругости прокладки;

$\nu_{пр}$ – коэффициент Пуассона прокладки;

K – то же, что и в первом случае k;

T – то же, что и в первом случае t;

$m_н, n_н, m_в, n_в$ – некоторые постоянные, характеризующие углы наклона к горизонтальной плоскости нижних и верхних контактирующих поверхностей;

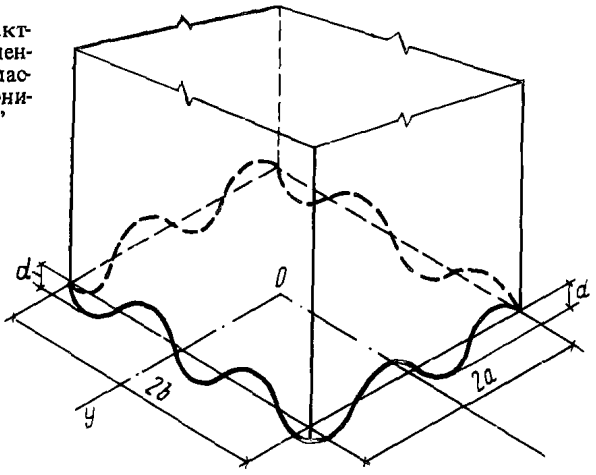
$p_н, q_н, p_в, q_в$ – некоторые постоянные, характеризующие криволинейность параболических контактирующих поверхностей по отношению к горизонтальной плоскости;

S – площадь горизонтального сечения штампа;

$\max q_н, \min q_н, \max q_в, \min q_в$ – экстремальные значения давления, возникающие на нижней и верхней поверхностях контакта;

$\bar{x}_н, \bar{x}_в, \bar{y}_н, \bar{y}_в$ – координаты точек, в которых возникают экстремальные значения давления.

Рис. 64. Контактная плоскость каменных и бетонных массивов вида "гармонические неровности"



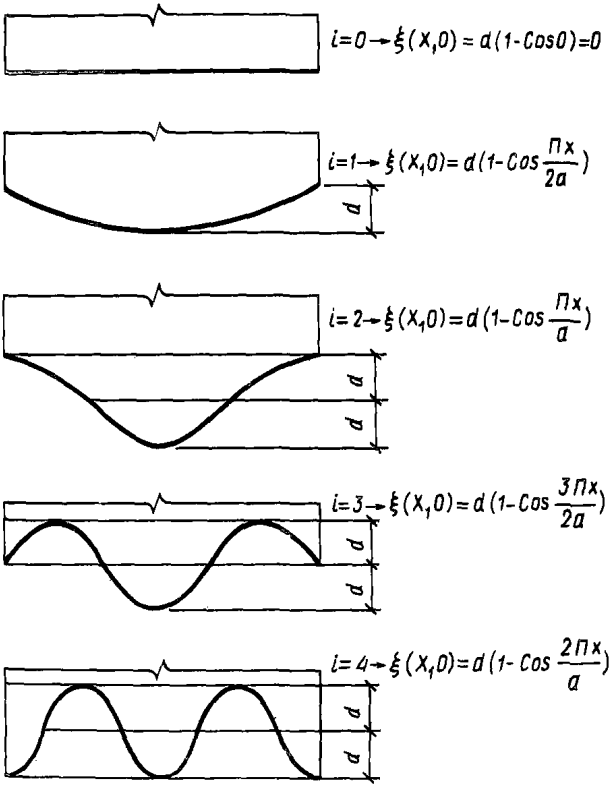


Рис.65. Характеристика поверхности "гармонические неровности"

Используемые уравнения.

Условия равновесия штампов:

$$+P-\int_{\Omega_в} q_в(x,y)\,dx\,dy=0;$$

$$+\int_{\Omega_н} q_н(x,y)\,dx\,dy-P=0;$$

условия состояния слоя:

$$q_0(x,y)=k_{11}W_1(x,y)+k_{12}W_2(x,y)-2\left[t_{11}\nabla^2W_1(x,y)+t_{12}W_2(x,y)\right];$$

$$q_2(x,y)=k_{21}W_1(x,y)+k_{22}W_2(x,y)-2\left[t_{21}\nabla^2W_1(x,y)+t_{22}W_2(x,y)\right];$$

условия неразрывности на поверхностях контакта:

$$W_1(x,y)\Psi_1(0)+W_2(x,y)\Psi_2'(0)=\delta_в-\zeta_в(x,y);$$

$$W_2(x,y)\Psi_2(H)+W_2(x,y)\Psi_2'(H)=-\delta_н-\zeta_н(x,y).$$

Решение этих уравнений приводит к следующим расчетным формулам:

$$K=\frac{E_0}{30(1-\nu_0^2)H};\qquad T=\frac{E_0H}{1680(1+\nu_0)};$$

$$E_0=\frac{E_{пр}}{1-\nu_{пр}^2};\qquad \nu_0=\frac{\nu_{пр}}{1-\nu_{пр}}.$$

А. Верхний и нижний штампы (рис.66,*а*) имеют одинаковые размеры $2a\times 2b$; верхний штамп имеет косой срез с

$$\zeta_в(x,y)=-m_в(x-a)-n_в(y-b);$$

нижний штамп имеет косой срез с

$$\zeta_н(x,y)=-m_н(x-a)-n_н(y-b);$$

$$\delta_в=\frac{P}{92KS}+(m_в a-n_в b);$$

$$\delta_н=\frac{P}{92KS}+(m_н a-n_н b);$$

$$\max q_в=\frac{P}{S}+K\left[47(m_в a+n_в b)+45(m_н a+n_н b)\right];$$

$$\min q_в=\frac{P}{S}-K\left[47(m_в a+n_в b)+45(m_н a+n_н b)\right];$$

$$\max q_н=\frac{P}{S}+K\left[45(m_в a+n_в b)+47(m_н a+n_н b)\right];$$

$$\min q_н=\frac{P}{S}-K\left[45(m_в a+n_в b)+47(m_н a+n_н b)\right].$$

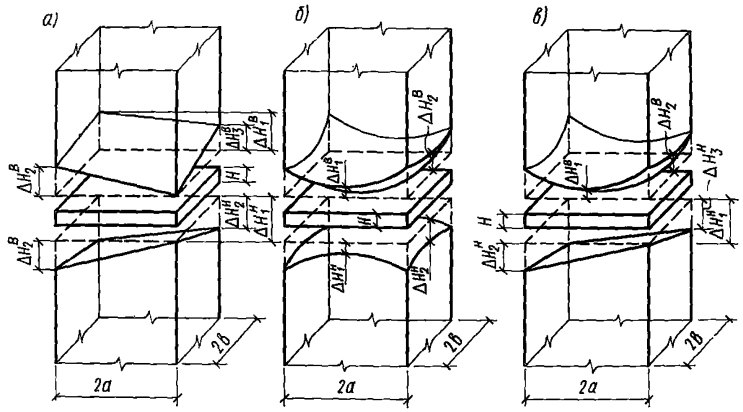


Рис. 66. Характерные случаи контактных поверхностей каменных и бетонных массивов

Б. Верхний и нижний штампы (рис. 66,*б*) имеют одинаковые размеры $2a \times 2b$; верхний штамп имеет параболическую торцевую поверхность:

$$\zeta_в(x,y) = p_в x^2 + q_в y^2;$$

нижний штамп имеет параболическую торцевую поверхность:

$$\zeta_н(x,y) = p_н x^2 + q_н y^2;$$

$$\delta_в = \frac{P}{92KS} + \frac{1}{3}(p_в a^2 + q_в b^2) + \frac{T}{46K}\left[-8249(p_в + q_в) + 8035(p_н + q_н)\right];$$

$$\delta_н = \frac{P}{92KS} + \frac{1}{3}(p_н a^2 + q_н b^2) + \frac{T}{46K}\left[8035(p_в + q_в) - 8249(p_н + q_н)\right];$$

$$\max q_в = \frac{P}{S} + \frac{1}{3}K\left[47(p_в a^2 + q_в b^2) + 45(p_н a^2 + q_н b^2)\right];$$

$$\min q_в = \frac{P}{S} - \frac{2}{3}K\left[47(p_в a^2 + q_в b^2) + 45(p_н a^2 + q_н b^2)\right];$$

$$\max q_н = \frac{P}{S} + \frac{1}{3}K\left[45(p_в a^2 + q_в b^2) + 47(p_н a^2 + q_н b^2)\right];$$

$$\min q_н = \frac{P}{S} - \frac{2}{3}K\left[45(p_в a^2 + q_в b^2) + 47(p_н a^2 + q_н b^2)\right].$$

В. Верхний и нижний штампы (рис. 66,*в*) имеют одинаковые размеры $2a \times 2b$; верхний штамп имеет параболическую торцевую поверхность с

$$\zeta_в(x,y) = p_в x^2 + q_в y^2;$$

нижний штамп имеет косой срез с

$$\delta_н(x,y) = -m_н(x-a) - n_н(y-b);$$

$$\delta_в = \frac{p}{92KS} + \frac{1}{3}(p_в a^2 + q_в b^2) - \frac{T}{46K}\,8249(p_в + q_в);$$

$$\delta_н = \frac{p}{92KS} + (m_н a + n_н b) + \frac{T}{46K}\,8035(p_в + q_в);$$

$$\max q_в = \frac{P}{S} + K\{47[p_в(\tfrac{1}{3}a^2 - \tilde{X}_в^2) + q_в(\tfrac{1}{3}b^2 - \tilde{Y}_в^2)] + 45(m_н\tilde{X}_в^2 + n_н\tilde{Y}_в^2)\};$$

$$\min q_в = \frac{P}{S} - K\left[47\frac{2}{3}(p_в a^2 + q_в b^2) + 45(m_н a + n_н b)\right];$$

$$\max q_н = \frac{P}{S} + K\{45[p_в(\tfrac{1}{3}a^2 - \tilde{X}_н^2) + q_в(\tfrac{1}{3}b^2 - \tilde{Y}_в^2)] + 47(m_н\tilde{X}_в^2 + n_н\tilde{Y}_в^2)\};$$

$$\min q_н = \frac{P}{S} - K\left[45\frac{2}{3}(p_в a^2 + q_в b^2) + 47(m_н a + n_н b)\right],$$

где $\tilde{X}_в = \frac{45m_н}{94p_в}$; $\tilde{Y}_в = \frac{45n_н}{94q_в}$;

$\tilde{X}_н = \frac{47m_н}{90p_в}$; $\tilde{Y}_н = \frac{47n_н}{90p_в}$.

Пример: Вес склеиваемых элементов $P=6{,}4$ т; сечение элементов $2a\times 2b = 60\times 40$ см^2; характер склеиваемых поверхностей: торцевая поверхность верхнего элемента имеет параболическую форму $\Delta H_1^в = 0{,}6$ см; $\Delta H_2^в = 0{,}4$ см; торцевая поверхность нижнего элемента имеет параболическую форму $\Delta H_1^н = 0{,}4$ см; $\Delta H_2^н = 0{,}5$ см; коэффициент Пуассона и модуль упругости склеивающей прокладки в момент монтажа $\nu_{пр}=0{,}35$; $E_{пр}=4{,}2$ кгс/см^2; толщина прокладки $H=3{,}5$ см.

$$E_0 = \frac{4{,}2}{1-0{,}35^2} = 4{,}76\ \text{кгс/см}^2; \quad \nu = \frac{0{,}35}{1-0{,}35} = 0{,}535;$$

$$K = \frac{4{,}76}{30(1-0{,}535^2)\cdot 3{,}5} = 0{,}063\ \text{кгс/см}^3;$$

$$T = \frac{4{,}76\cdot 3{,}5}{1680(1+0{,}535)} = 0{,}00656\ \text{кгс/см}.$$

Вычисление коэффициентов $p_в, q_в, p_н, q_н$ производится по рис.63.

$$q_в = \frac{\Delta H_1^в}{b^2} = \frac{0{,}6}{20^2} = 0{,}0015\ 1/\text{см}; \quad p_в = \frac{\Delta H_2^в}{a^2} = \frac{0{,}4}{30^2} = 0{,}00044\ 1/\text{см};$$

$$q_н = \frac{\Delta H_1^н}{b^2} = \frac{0,4}{20^2} = 0,001\ 1/см; \quad p_н = \frac{\Delta H_2^н}{a^2} = \frac{0,5}{30^2} = 0,00055\ 1/см;$$

$$\delta_в = \frac{9400}{92 \cdot 0,063 \cdot 2400} + \frac{1}{3}(0,00044 \cdot 30^2 + 0,0015 \cdot 20^2) + \frac{0,00656}{46 \cdot 0,063}$$

$$\left[-8249(0,00044 + 0,0015) + 8035(0,00055 + 0,001)\right] = 1,003\ см.$$

$\delta_н = \ldots 0,986.$

Условия $\delta = \delta_н + \delta_в < H$; $\delta_в > h_в = p_в a^2 + q_в b^2$ и $\delta_н \geq h_н = p_н a^2 + q_н b^2$ выполняются.

$$max\ q_в = \frac{9400}{2400} + \frac{1}{3} 0,063[47(0,00044 \cdot 30^2 + 0,0015 \cdot 20^2) + 45 \times$$

$$\times (0,00055 \cdot 30^2 + 0,001 \cdot 20^2)] = 3,91 + 1,83 = 5,74\ кгс/см^2;$$

$$min\ q_в = \frac{9400}{2400} - \frac{2}{3} 0,063[47(0,00044 \cdot 30^2 + 0,0015 \cdot 20^2) + 45 \times$$

$$\times (0,00055 \cdot 30^2 + 0,001 \cdot 20^2)] = 3,91 - 3,66 = 0,25\ кгс/см^2;$$

$max\ q_н = \ldots 5,74\ кгс/см^2$; $min\ q_н = \ldots 0,25\ кгс/см^2$.

Технология применения склеивающих прокладок

5.49. Процесс изготовления склеивающих прокладок из выбранного состава клеевой композиции состоит из следующих операций:

подготовки исходных материалов;

дозировки компонентов клеевой композиции по выбранной рецептуре;

смешивания компонентов клеевой композиции;

формирования склеивающих прокладок и их упаковка.

5.50. Технология омоноличивания стыков элементов с помощью склеивающих прокладок включает в себя подготовку омоноличиваемых поверхностей, раскладку на одной из них прокладок, совмещение стыкуемых элементов и процесс отверждения клеевой композиции прокладок в шве омоноличиваемых конструкций.

5.51. Омоноличиваемая поверхность должна быть прочной, чистой и сухой. Оценка прочности омоноличиваемой поверхности производится путем приклейки к ней эпоксидным клеем стального диска диаметром 50 мм и последующим отрывом его с помощью винтового домкрата. По показаниям динамометра, устанавливаемого на домкрате, определяется усилие отрыва, а делением величины усилия на площадь приклейки диска –

напряжения отрыва или прочность поверхности. Если в результате контрольной проверки омоноличивания поверхность имеет необходимую прочность, то дополнительная обработка не требуется. При загрязнении омоноличиваемой поверхности каким-либо жирным средством последнее удаляется с помощью ацетона или бензина. При влажности омоноличиваемой поверхности большей, чем естественная, поверхность подлежит просушиванию струей обезвоженного и обезжиренного горячего воздуха или другими источниками тепла (различного рода электронагревателями, инфракрасными лампами и т.д.).

5.52. Перед раскладкой склеивающих прокладок с помощью струи обезвоженного и обезжиренного сжатого воздуха производится обеспыливание омоноличиваемой поверхности.

5.53. Склеивающие прокладки укладываются сплошным ковром на подготовленную поверхность одного из стыкуемых элементов. При горизонтальном стыке элементов склеивающие прокладки раскладываются на подготовленной к омоноличиванию поверхности нижнего элемента; при вертикальном стыке склеивающие прокладки с помощью специального приспособления закрепляются на омоноличиваемой поверхности ранее установленного элемента.

5.54. На уложенные склеивающие прокладки устанавливается второй из стыкуемых элементов, необходимое совмещение которого с ранее установленным элементом достигается при помощи инвентарных кондукторов, используемых при обычных способах монтажа.

5.55. Для изготовления склеивающих прокладок рекомендуется использовать клеевые композиции (рис.67), имеющие в общем случае следующий состав, мас.ч:

эпоксидная смола ЭД-16	100
отвердитель:	
гексаметилендиамин	10
или полиэтиленполиамин	10
или триэтаноламин	15
или смесь полиэтиленполиамина с триэтаноламином	от 10 до 15
пластификатор (модификатор):	
дибутилфталат	20
или жидкий тиокол НВБ-2	20
или полиэфир ТМГФ-11	20
или полиэфир МГФ-9	20
наполнитель – кварцевый песок	800–1000

5.56. Выбор вида и количества рекомендуемых отвердителей для прокладок определяется требуемым сроком годности (жизнеспособностью) склеивающей прокладки и интенсивностью ее отверждения в клеевом шве. Применение полиэтиленполиамина (ПЭПА) определяет срок годности прокладки при температуре 18–20°С в 2–4 ч, а применение в тех же условиях триэтаноламина (ТЭА) – 250 ч. Заменяя часть ПЭПА равнозначным и необходимым для обеспечения полного отверждения

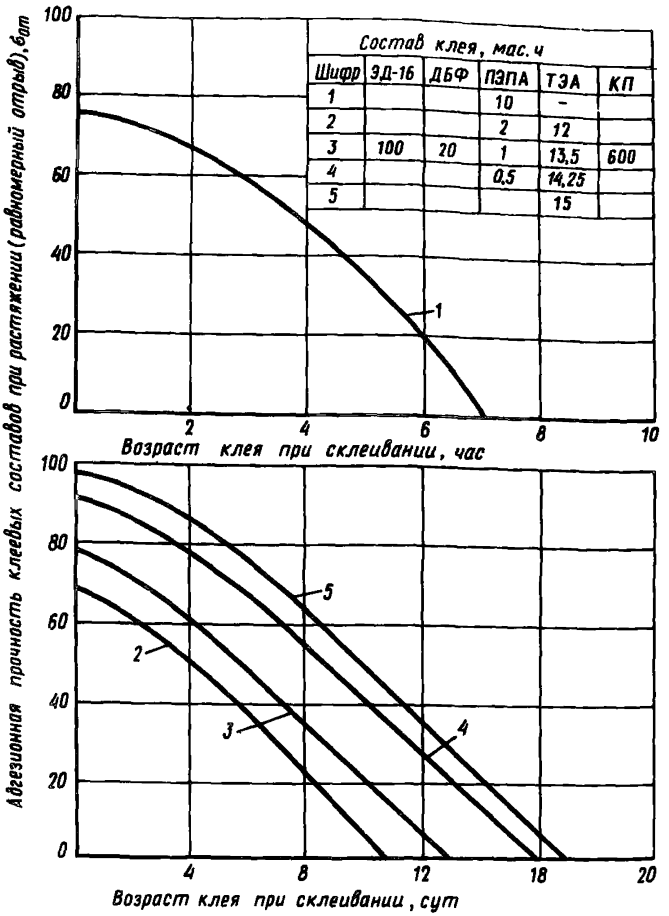


Рис.67. График подбора рецептуры ЗКП по адгезионной прочности клеевых составов в зависимости от возраста клея (склеивание при температуре 20±5°С)

клеевой композиции количеством ТЭА, можно комбинированным отвердителем регулировать жизнеспособность и продолжительность отверждения склеивающей прокладки в сравнительно широком диапазоне времени.

5.57. Выбор состава склеивающей прокладки в каждом конкретном случае производится самостоятельно в пределах настоящих рекомендаций. При выборе состава клеевой компози-

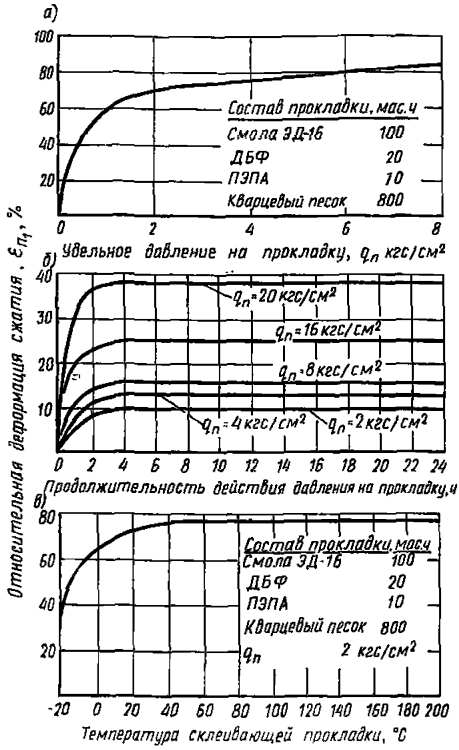


Рис. 68. Графики для подбора рецептуры склеивающей прокладки в зависимости от

а – величины удельного давления; *б* – величины и продолжительности действия удельного давления; *в* – температуры склеивающей прокладки

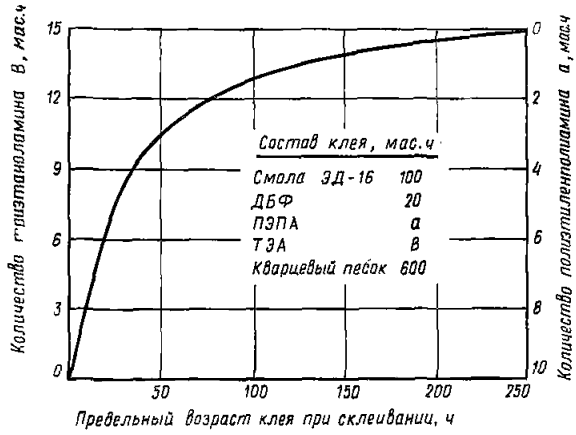
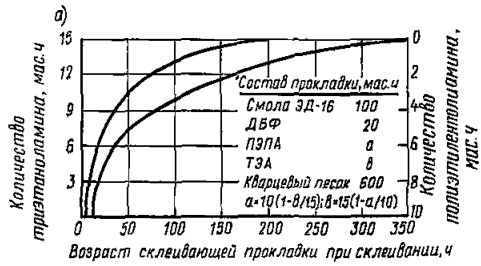


Рис. 69. График для подбора рецептуры ЗКП с комбинированным отвердителем при температуре 20–5°С, обеспечивающая $\sigma_{от}$ – 50 кгс/см²



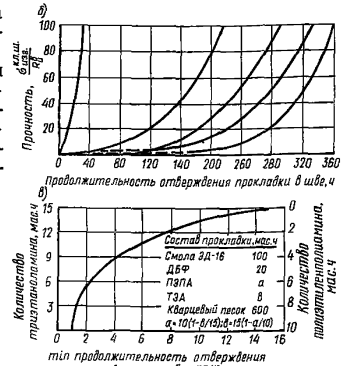


Рис. 70. Графики для подбора рецептуры прокладки в зависимости от
а — состава и возраста прокладки при склеивании (при сдвиге); *б* — состава и продолжительности отверждения прокладки (при изгибе); *в* — состава комбинированного отвердителя на минимальную продолжительность отверждения (при изгибе)

ции, а также геометрических размеров прокладки и других ее производственно-технологических параметров необходимо учитывать влияние различных факторов на склеивающую способность прокладки и ее податливость (рис.68–70).

6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНО-КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРРАСТВОРОВ ДЛЯ КОНСЕРВАЦИИ И РЕСТАВРАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ИЗ КАМНЯ И БЕТОНА

6.1. Рекомендации должны упорядочить выбор типов полимерных материалов в зависимости от целесообразности их применения для различных климатических районов, а также от состояния конструкции, нагрузок, агрессивных воздействий и т.п.

6.2. Выбор вида полимерраствора и рецептуры состава учитывает возможность обеспечить максимальные сроки службы здания или сооружения после реставрации при одновременном снижении материальных затрат и времени на ее осуществление.

6.3. Применение способа адгезионной обмазки является наиболее экономически выгодным (до 80% экономии материалов) и рекомендуется во всех случаях, когда технически этот способ возможен.

6.4. Инъектирование трещин и полостей полимерраствором используется для конструкций, воспринимающих значительные статические либо динамические воздействия. В противном случае применяют обычные растворы или растворы на ПВАЭ.

6.5. Экономически более целесообразным следует считать применение метода вклеивания арматурных стержней при локализованных зонах соприкосновения элементов сооружения.

6.6. Применение омоноличивающих прокладок технически и экономически оправдано в высоконагруженных горизонтальных стыках каменных и бетонных массивов.

6.7. Защитно-конструкционные полимеррастворы позволяют в отдельных случаях реставрировать практически непригодные для реставрации конструкции исторического объекта, подлежащие полной разборке, что создает, кроме экономического, еще и социальный эффект, так как дает возможность сохранить уникальные сооружения, не нарушая его целостности.

6.8. Технико-экономические обоснования и сравнения технических решений строительно-реставрационных работ в каждом конкретном случае выполняются в соответствии с СН 509-78 и СН 423-71.

Приложение

Формы технической документации по контролю качества работ

Форма 1

Контроль свойств исходных органических материалов

Материал	Завод-изготовитель	Номер партии и дата изготовления	Дата испытаний	Внешний вид	Удельный вес, г/см^3	Заключение о пригодности	Фамилия лица, проводившего испытания
Базовый компонент							
Пластификатор							
Отвердитель							

Форма 2

Контроль свойств минеральных материалов

Материал	Завод-изготовитель или наименование карьера	Номер партий и дата изготовления	Дата испытаний	Удельный вес, г/см^3	Удельная влажность, см^2/г	Внешний вид	Гранулометрический состав фракции, мм					Заключение о пригодности	Фамилия лица, проводившего испытания
Наполнитель													

Форма 3

Контроль изготовления эпоксидных полупродуктов

Номер замеса	Дата и номер рапортички лаборатории о контроле исходных материалов	Загрузка исходных материалов					Фамилия ответственного по приготовлению данной партии эпоксидного состава	Результат проверки точности дозировки исходной композиции	Фамилия лица, проводившего проверку приготовления состава
		эпоксидная смола	пластификатор	отвердитель №1	отвердитель №2	наполнитель			

Примечание. Наполнитель допускается вводить при изготовлении рабочего состава

Форма 4

Контроль изготовления рабочих составов

Дата изготовления рабочего состава	Номер замеса рабочего состава	Загрузка компонетов состава, мас.ч			Фамилия ответственного за приготовление	Результаты проверки дозировки	Фамилия лица, проводившего проверку
		полупродукты	смесь отвердителей	наполнитель-песок			

Форма 5

Контроль качества склеивающих прокладок и оценка их пригодности для практического применения

Шифр прокладки	Дата изготовления прокладки	Вид и количество (на 100 мас.ч эпоксидной смолы) использованного в составе прокладки отвердителя	Жизнеспособность (срок хранения при 18–20°С)	Фактические условия хранения прокладки	Результаты контрольной проверки							Заключение о качестве пригодности прокладки	Фамилия лица, проводившего проверку
					дата проверки	податливость прокладки	склеиваемые материалы и размеры опытных образцов	вид механических испытаний опытных образцов	Условия склеивания опытных образцов		Результаты механических испытаний		
									температура, °С	продолжительность (мин, час, сут)	прочность клеевого шва, кгс/см^2	характер разрушения	

Форма 6

Контроль экспресс-методом качества склеивающей прокладки и прочности полимеррастворного шва

Шифр прокладки	Дата изготовления прокладки	Заключение о пригодности прокладки по контрольной проверке ее состояния	Место применения прокладки	Дата и время применения прокладки	Состояние склеиваемой поверхности (чистота, прочность, влажность)	Размеры склеиваемой поверхности, м^2	Режим омоноличивания бетона			Проверка качества омоноличивания экспресс-методом на стальных образцах	
							температура, °С	продолжительность, мин	давление кгс/см^2	дата и время проверки	откуда взята опытная проба прокладки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Продолжение формы 6

Проверка качества омоноличивания экспресс-методом на стальных образцах									Заключение о качестве прокладки и клеевом шве	Фамилия лица, проводившего проверку
характер подготовки склеиваемых поверхностей	размеры склеиваемой поверхности, см^2	Режим склеивания			Результаты механических испытаний					
		температура, °С	продолжительность, мин	давление, кгс/см^2	температура, °С	вид механических испытаний	прочность омоноличивания, кгс/см^2	характер разрушения образцов		
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанов В.И. Экономика повышения долговечности и коррозионной стойкости строительных конструкций. М., Стройиздат, 1976.

2. Вопросы охраны, реставрации и пропаганды памятников истории и культуры. Вып.1–5, М., Министерство культуры РСФСР, 1970–1978.

3. Гендель Э.М. Инженерные работы при реставрации памятников архитектуры. М., Стройиздат, 1980.

4. Закон Союза Советских Социалистических Республик об охране и использовании памятников истории и культуры, 20 октября 1976.

5. Законодавство про пам'ятники історії та культури, Київ, Політвидав України, 1970.

6. Консервация и реставрация памятников и исторических зданий. М., Стройиздат, 1978.

7. Каменные и армокаменные конструкции. Примеры расчета. Под редакцией Л.П.Полякова. Киев, Вища школа, 1980.

8. Лисенко В.А., Буренин А.И., МосякВ.И. Исследование ползучести и усадки клеевых соединений бетона при одноосном сжатии. Новосибирск, 1971.

9. Лисенко В.А. Структурно-механические принципы создания защитно-конструкционных олигоэпоксидов для строительных конструкций. Труды II национальной конференции по механике и технологии композиционных материалов в Варне 1–3 окт. 1979 г. София, изд. Академии наук, 1979, с.296–299.

10. Микульский В.Г., Игонин Л.А. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях. М., Стройиздат, 1965.

11. Микульский В.Г., Козлов В.В. Склеивание бетона. М., Стройиздат, 1975.

12. Михайловский Е.В. Реставрация памятников архитектуры. М., 1971.

13. Охрана памятников истории и культуры (сб.документов). М., Советская Россия, 1973.

14. Охрана памятников истории и культуры в СССР, материалы V Генеральной ассамблеи ИКОМОС, 21–27 мая 1978, Москва, Суздаль.

15. СНиП II-В.2-71. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1978.

16. СНиП II-21-75. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1976.

17. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. М., Стройиздат, 1967.

18. Советское законодательство о памятниках истории и культуры. Минск, "Полимя", 1972.

19. Сталеполимербетонные строительные конструкции. Под ред. С.С.Давыдова и А.М.Иванова. М., Стройиздат, 1972.

20. Степанов В.О. и др. Опыт борьбы с разрушениями камня в памятниках архитектуры XII–XIII вв. Памятники культуры, т.2, М., 1960.

21. ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Госстроя СССР. Руководство по проектированию каменных и армокаменных конструкций. М., Стройиздат, 1974.

22. Lissenko V.A. Les epoxydes dans les structures en beton arme, RILEM, Paris, vol. № 7–39, 1974.
Materiaux et construction, p.p. 169–180

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 3
1. Общие положения 4
2. Методы изучения существующего состояния памятников и исторических зданий из камня и бетона 5
Научно-методические основы реставрации 5
Приборы и оборудование для обследования реставрируемых зданий и сооружений 8
3. Основные виды повреждений зданий и сооружений из камня и бетона 11
Дефекты каменных зданий и сооружений 11
Виды повреждений бетонных и железобетонных конструкций 30
4. Усиление конструкций реставрируемых зданий и сооружений 35
Общие положения по расчету и конструированию усилений 35
Способы усиления конструкций 37
Методы расчета конструкций усиления 42
5. Технология проведения работ по консервации и реставрации зданий и сооружений при помощи защитно-конструкционных полимеррастворов 50
Полимеррастворы для реставрации и усиления конструкций. Составы. Основные свойства. Надежность и долговечность. Характеристика исходных компонентов 50
Технология приготовления полимеррастворов . . 62
Подготовка конструкций к производству работ по усилению и омоноличиванию 63
Технология проведения работ по реставрации и усилению строительных конструкций 64
Применение склеивающих прокладок из защитно-конструкционных полимеррастворов 70
Расчет склеивающей прокладки, располагающей-

ся между элементами с ровной и элементом с неровными поверхностями контакта 73
Расчет склеивающей прокладки, располагающейся между двумя элементами с неровными поверхностями контакта 76
Технология применения склеивающих прокладок 81
6. Технико-экономические аспекты применения защитно-конструкционных полимеррастворов для консервации и реставрации зданий и сооружений из камня и бетона 85
Приложение: Формы технической документации по контролю качества работ 87
Список литературы 90

Научно-исследовательская и проектная лаборатория
экспериментального проектирования жилых
и общественных зданий Одесского
инженерно-строительного института (НИЛЭП ОИСИ)

Рекомендации
по применению новых типов защитно-конструкционных полимеррастворов для реставрации и консервации памятников и исторических зданий из камня и бетона
Часть 1

Редакция инструктивно-нормативной литературы

Зав.редакцией Г. А. Жигачева
Редактор О. Г. Дриньяк
Мл.редактор М. Н. Борисова
Технический редактор Е. Н. Ненарокова
Корректор Н. О. Родионова
Н/К

Подписано в печать 18.12.81 Т-06424 Формат 84x108/32
Набор машинописный Печать офсетная Бумага офсетная
80 г/м^2 Усл.печ. л. 5,04 Усл. кр.-отт. 4,78 Уч. изд. л. 4,66 Тираж 5000 экз. Изд. № XII – 9419 Зак. № 73
Цена 25 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли

г. Тула, проспект Ленина, 109

gost.e-ecolog.ru