

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ.
УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
СИСТЕМОЙ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ
ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН**

СТО НИИЭС 002-2016



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»
(АО «НИИЭС»)

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ.
УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
СИСТЕМОЙ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ ИЗ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН**

СТО НИИЭС 002-2016

Издание официальное

Москва – 2016

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом Российской Федерации от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», а правила применения стандарта организации – ГОСТ Р 1.4 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (АО «НИИЭС»), Обществом с ограниченной ответственностью «Нанотехнологический центр композитов» (ООО «НЦК»), Акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Веденеева» (АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»), Акционерным обществом «Институт Гидропроект» (АО «Институт Гидропроект»), Обществом с ограниченной ответственностью «Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике» (ООО «ИЦ СКТЭ»)

2 ВНЕСЕН Ученым советом АО «НИИЭС». Протокол от 26.04.2016 № 91

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Генерального директора АО «НИИЭС» от 27.04.16 № 22

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения АО «НИИЭС»

Содержание

1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки	2
3	Термины, определения, обозначения и сокращения	4
3.1	Термины и определения	4
3.2	Обозначения и сокращения	7
4	Общие требования	8
5	Правила проектирования восстановления и усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования (СВА) из композитных материалов на основе углеродных волокон	10
5.1	Общие положения	10
5.2	Расчёт железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных системой внешнего армирования (СВА) из композитных материалов	11
5.2.1	Основные расчетные положения	11
5.2.2	Основные характеристики применяемых материалов	13
5.2.3	Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений по предельным состояниям первой группы	15
5.2.4	Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений по предельным состояниям второй группы	43
5.2.5	Расчет на температурные воздействия	54
5.3	Общие принципы внешнего армирования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений композитными материалами на основе углеродных волокон	55
5.4	Конструктивные требования к усилению железобетонных конструкций СВА композитными материалами на основе углеродных волокон	56

5.5	Рекомендации по эксплуатационному контролю состояния железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных системой внешнего армирования	58
6	Технологический регламент усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования из композитных материалов на основе углеродных волокон	61
6.1	Основные положения	61
6.2	Требования к поверхности усиливаемой конструкции	62
6.3	Восстановление целостности и геометрической формы усиливаемых конструкций	63
6.3.1	Удаление дефектных участков конструкции	63
6.3.2	Антикоррозионные мероприятия	64
6.3.3	Восстановление поврежденного бетона. Ремонт каверн	64
6.3.4	Ремонт трещин	66
6.3.5	Замена разрушенного бетона площадью более 1 м ² . Восстановление геометрии конструкции	69
6.4	Подготовка поверхности конструкции к устройству внешнего армирования	71
6.5	Устройство элементов внешнего армирования	73
6.5.1	Внешнее армирование на основе углеродных лент (тканей) ..	73
6.5.2	Внешнее армирование на основе углепластиковых ламелей (ламинатов)	75
6.5.3	Внешнее армирование на основе углеродных сеток	78
6.5.4	Устройство анкеров	80
6.6	Материалы, рекомендуемые для устройства внешнего армирования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений	86
6.7	Контроль качества выполнения работ по усилению железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования	87
6.7.1	Общие положения	87
6.7.2	Оценка состояния конструкций перед ремонтом и усилением	88

6.7.3	Входной контроль	89
6.7.4	Контроль соблюдения правил складирования и хранения	89
6.7.5	Операционный контроль	90
6.7.6	Освидетельствование скрытых работ	98
6.7.7	Приемочный контроль законченного этапа работ	99
6.8	Безопасность труда и охрана окружающей среды	100
Приложение А	(справочное) Примеры расчетов железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных системой внешнего армирования	102
Приложение Б	(рекомендуемое) Примеры технических решений усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования	109
Приложение В	(обязательное) Технологии ремонта поврежденного бетона	136
Приложение Г	(обязательное) Схемы монтажа элементов усиления	144
Приложение Д	(обязательное) Методика определения адгезии композита к бетонной поверхности	148
Приложение Е	(обязательное) Методика изготовления и испытания образцов-представителей композита (лент и тканей)	154
Библиография		155

Введение

Стандарт организации АО «НИИЭС» «Гидротехнические сооружения. Усиление железобетонных конструкций системой внешнего армирования из композитных материалов на основе углеродных волокон» (далее – Стандарт) разработан в соответствии с требованиями Федерального закона от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и Федерального закона от 29.06.2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

Стандарт распространяется на железобетонные конструкции гидротехнических сооружений, усиливаемые посредством применения системы внешнего армирования из композитных материалов на основе углеродных волокон, и устанавливает требования, рекомендации и правила к проектированию и устройству системы внешнего армирования.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ АО «НИИЭС»

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ. УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМОЙ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

Дата введения 27 – 04 – 2016

1 Область применения

1.1 Стандарт устанавливает требования к проектированию и устройству усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений посредством системы внешнего армирования из композитных материалов на основе углеродных волокон.

1.2 Стандарт распространяется на вновь строящиеся, реконструируемые и ремонтируемые речные и морские железобетонные гидротехнические здания и сооружения всех классов, входящие в состав энергетических и водных транспортных гидроузлов, а также сооружения для борьбы с наводнениями и защиты территории от затопления и подтопления.

1.3 Стандарт предназначен для обязательного применения в АО «НИИЭС» (далее – Общество).

1.4 Требования Стандарта обязаны выполнять любые сторонние организации и физические лица, выполняющие работы (оказывающие услуги) в области его применения по договорам с Обществом, если данное условие предусмотрено договорными документами.

1.5 При введении в действие уполномоченными федеральными органами исполнительной власти новых нормативных правовых и (или) технических документов, а также при внесении организацией-изготовителем композитных материалов изменений в техническую документацию, требования которых отличаются от требований Стандарта, следует пользоваться вновь введенными требованиями до внесения в Стандарт соответствующих изменений.

2 Нормативные ссылки

В Стандарте использованы ссылки на следующие нормативные правовые акты, стандарты и своды правил:

Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».

Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

Постановление Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390 «Правила противопожарного режима в Российской Федерации».

ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.

ГОСТ 12.0.004-90 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.

ГОСТ 25.601-80 Методы механических испытаний композитных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах.

ГОСТ 25.602-80 Методы механических испытаний композитных материалов с полимерной матрицей (композитов) для определения фактической прочности на растяжение, модуля упругости и предельной деформации при разрыве в направлении основных волокон.

ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

ГОСТ 4648-2014 Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб.

ГОСТ 4650-2014 Пластмассы. Методы определения водопоглощения.

ГОСТ 4651-2014 Пластмассы. Метод испытания на сжатие.

ГОСТ 11262-80 Пластмассы. Метод испытания на растяжение.

ГОСТ 14759-69 Клеи. Метод определения прочности при сдвиге.

ГОСТ 17624-2012 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.

ГОСТ 20911 Техническая диагностика. Термины и определения.

ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.

ГОСТ 22904-93 Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.

ГОСТ 28570-90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.

СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.

СП 14.13330.2014 Свод правил. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-7-81*.

СП 41.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87.

СП 48.13330.2011 Свод правил. Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004.

СП 63.13330.2012 Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.

СП 164.1325800.2014 Свод правил. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.

СТО 17330282.27.010.001-2008 Электроэнергетика. Термины и определения.

Примечание – При пользовании Стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет, или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году, СТО Общество – по официальному регулярно обновляемому перечню применяемых нормативных документов. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании Стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В Стандарте применены понятия в соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ от 30.12.2009, термины по СТО 17330282.27.010.001-2008, ГОСТ 27.002, ГОСТ 20911, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 адгезив: Состав на основе термореактивной смолы для наклейки ламинатов или пропитки и наклейки изделий из непрерывного углеродного волокна (лент, холстов, тканей, сеток) на поверхность железобетонной конструкции.

3.1.2 анкерный жгут: Изделие заводского изготовления, состоящее из углеродных волокон и вырабатываемое методом вязального плетения.

3.1.3 армирующая основа композитного материала (ткань, лента, холст, сетка, ламинат): Тканый или нетканый материал на основе углеродных волокон определенной поверхностной плотности, предназначенный для изготовления элементов при усилении строительных конструкций внешним армированием. Выпускается в рулонах различной длины и ширины.

3.1.4 бетонная конструкция: Конструкция, выполненная из бетона без арматуры или с небольшим количеством арматуры, установленной по конструктивным соображениям; расчетные усилия от собственного веса и внешних нагрузок и воздействий в бетонной конструкции воспринимаются бетоном.

3.1.5 визуальный контроль: Контроль, при котором осуществляется только осмотр на предмет наличия внешних признаков контроля без использования специальных средств измерений.

3.1.6 внешнее армирование железобетонной конструкции полимерными композитами: Установка наклеиванием на железобетонную конструкцию изделий заводского изготовления из полимерных композитов (ламинатов) или послойное наклеивание термореактивными адгезивами изделий из непрерывного углеродного волокна (лент, холстов, тканей, сеток) с последующим отверждением и образованием однослойного или многослойного (не более 5 слоёв) полимерного композита.

3.1.7 восстановление (ремонт) железобетонной конструкции: Комплекс конструктивных мероприятий и технологических работ, направленных на восстановление несущей способности и эксплуатационных свойств конструкции, нарушенных вследствие дефектов изготовления или в процессе ее эксплуатации.

3.1.8 входной контроль: Контроль продукции поставщика, поступившей к потребителю или заказчику и предназначенной для использования при изготовлении, ремонте или эксплуатации продукции.

3.1.9 выборочный контроль: Контроль, при котором проверяется случайная выборка определенного объема и вида работ или случайная выборка конструкций.

3.1.10 грунтовочный состав: Состав, наносимый на основание для его пропитки с целью обеспечения необходимого сцепления адгезива с основанием.

3.1.11 дефект: Отдельное несоответствие конструкций какому-либо параметру, установленному проектной и технологической документацией или нормативным документом.

3.1.12 жизнеспособность связующего: Период времени с момента окончания смешения компонентов связующего, в течение которого (адгезив) компаунд продолжает обладать технологическими свойствами, сохраняет текучесть и является пригодным для применения.

3.1.13 железобетонная конструкция: Конструкция, выполненная из бетона и рабочей стальной арматуры; расчетные усилия от собственного веса и внешних нагрузок и воздействий в железобетонной конструкции воспринимаются бетоном и рабочей арматурой.

3.1.14 измерительный контроль: Контроль, осуществляемый с применением средств измерения.

3.1.15 ламинат из полимерного композита (ламинат, ламель): Готовые для устройства внешнего армирования пластины из углеродного волокна различной толщины и ширины, изготовленные в заводских условиях.

3.1.16 неплоскостность: Максимальное отклонение поверхности бетонной конструкции от приложенного к ней правила или рейки, измеряемое в направлении, перпендикулярном поверхности конструкции.

3.1.17 неплотное прилегание: Прилегание, при котором существует пустота между композитным материалом и усиливаемой конструкцией,

возникшая вследствие неплотного прилегания композитного усиления к поверхности конструкции.

3.1.18 операционный контроль: Контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции.

3.1.19 поверхность усиливаемой железобетонной конструкции (основание): Поверхность железобетонной конструкции, на которую производится наклеивание ламинатов или изделий из непрерывного углеродного волокна (лент, холстов, тканей, сеток, анкерных жгутов) при ее усилении или восстановлении (ремонте).

3.1.20 повреждение: Неисправность, полученная конструкцией при изготовлении и выполнении строительно-монтажных работ на площадке.

3.1.21 праймер: Материал, применяемый для предварительной подготовки основания железобетонной конструкции перед нанесением адгезива.

3.1.22 приемочный контроль: Контроль, выполняемый по завершении строительства объекта или его этапов, скрытых работ и других объектах контроля. По его результатам принимается документированное решение о пригодности объекта контроля к эксплуатации или выполнению последующих работ.

3.1.23 производственный контроль: Контроль качества строительных работ, выполняемый на строительной площадке.

3.1.24 расслоение: Дефект устройства СВА в виде неоднородности, неровности укладки волокон углеродного материала в смонтированном композитном усилении.

3.1.25 связующее (адгезив, клей): Специальный состав на эпоксидной основе, предназначенный для грунтовки основания, пропитки лент, тканей, холстов, сеток при изготовлении элементов (полимерных композитов), наклеивания ламинатов.

3.1.26 связующее (состав на цементной основе): Высокоэластичный состав на цементной основе со специальными добавками предназначенный для выполнения работ по монтажу сеток на основе углеродного волокна.

3.1.27 система внешнего армирования (СВА) из полимерных композитов: Однослойная или многослойная (не более 5 слоёв) система, работающая совместно с конструкцией и представляющая собой полимерный композит, образующийся в результате отверждения термореактивного адгезива, армированного усиливающими элементами из углеродного волокна.

Примечание - Защитный слой наносят в соответствии с проектной документацией на усиление или восстановление железобетонной конструкции.

3.1.28 сплошной контроль: Контроль, при котором проверяется весь объем одного вида работ или все конструкции.

3.1.29 способ монтажа «мокрый»: Способ монтажа элементов усиления из углеродных лент и тканей, при котором их пропитка (адгезивом) осуществляется при изготовлении (раскрое) до начала монтажа.

3.1.30 способ монтажа «сухой»: Способ монтажа элементов усиления из углеродных лент и тканей, при котором их пропитка (адгезивом) осуществляется в процессе прикатки после укладки на поверхность усиливаемой конструкции.

3.1.31 сталежелезобетонная конструкция: Конструкция, выполненная из бетона, рабочей стержневой арматуры и рабочей арматуры из листового проката; расчетные усилия от собственного веса и внешних нагрузок и воздействий в сталежелезобетонной конструкции воспринимаются бетоном и рабочей стержневой и листовой арматурой.

3.1.32 сталебетонная конструкция: Конструкция, выполненная из бетона и рабочей арматуры из листового проката; расчетные усилия от собственного веса и внешних нагрузок и воздействий в сталебетонной конструкции воспринимаются бетоном и арматурой из листового проката.

3.1.33 усиление железобетонной конструкции: Комплекс конструктивных мероприятий и технологических работ, направленных на повышение несущей способности конструкции при наличии дефицита по несущей способности или при увеличении действующих на нее нагрузок.

3.1.34 шпатлевочный состав: Состав, наносимый на основание для заполнения каверн и выравнивания поверхности.

3.1.35 элементы усиления: Ламинаты или их части, части изделий из непрерывного углеродного волокна (лент, холстов, тканей, сеток, анкерных жгутов) различной длины и ширины, подготовленные для наклеивания на поверхность бетонной или железобетонной конструкции.

3.2 Обозначения и сокращения

В Стандарте применены следующие сокращения:

- ГТС – гидротехническое сооружение;
- КИА – контрольно-измерительная аппаратура;
- НДС – напряжённо-деформированное состояние;

- СБС – сухая бетонная смесь;
- СВА – система внешнего армирования из композитных материалов на основе углеродных волокон;
- СТО – стандарт организации;
- ТР – технологический регламент усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования из композитных материалов на основе углеродных волокон;
- ТУ – технические условия.

4 Общие требования

4.1 Устройство системы внешнего армирования производится по специально разработанному проекту усиления конструкции при соответствующем расчетном обосновании и соблюдении технологии производства работ.

4.2 Работы по устройству внешнего армирования бетонных и железобетонных конструкций ГТС должны выполняться в соответствии с проектной и технологической документацией специализированными организациями.

Отступления от проектной и технологической документации допускаются только с согласия авторского надзора, о чем делается запись в журнале работ.

4.3 В качестве элементов внешнего армирования строительных конструкций применяются армирующие материалы на основе углеродных волокон:

- однонаправленные – ленты, ламинаты и анкерные жгуты;
- двунаправленные – сетки и ткани.

Характеристики применяемых материалов для усиления (геометрия, механические характеристики и пр.) должны отвечать требованиям действующих нормативов.

4.4 Технологическая операция наклейки усиливающих элементов должна выполняться при температуре окружающей среды указанной производителем адгезива для элементов СВА.

При выполнении работ по усилению при температурах ниже заявленных производителем рекомендуется использование специальных клеевых составов или устройство теплового контура.

4.5 Не допускается попадание осадков и загрязнений на зону наклейки во время нанесения и отверждения адгезива и связующего.

4.6 Перед наклейкой усиливающих элементов следует контролировать температуру и относительную влажность окружающей среды, а также температуру поверхности бетона и его влажность для определения точки росы.

4.7 Температура основания, подготовленного под наклейку усиливающих элементов, должна быть на 3 °C выше точки росы и не ниже +5 °C. Влажность основания должна быть не более 4 %.

4.8 Работы по устройству внешнего армирования рекомендуется производить при относительной влажности окружающей среды не выше 80%.

4.9 Технология производства работ, последовательность выполнения технологических операций по устройству СВА бетонных и железобетонных конструкций ГТС должны обеспечивать минимизацию влияния на существующий технологический процесс или производственный цикл здания или сооружения.

4.10 Для сокращения сроков производства работ по усилению элементов строительных конструкций крупных гидротехнических сооружений, а также снижения трудозатрат и стоимости устройства СВА рекомендуется производство работ промышленными методами с применением механизации.

4.11 Для снижения вероятности ошибки при производстве работ сортамент применяемых изделий и их типоразмеров системы внешнего армирования рекомендуется минимизировать.

4.12 В конструкциях и их элементах, подверженных в процессе их эксплуатации воздействию агрессивных сред, необходимо дополнительно предусматривать защиту от таких воздействий. Работы по ее устройству необходимо начинать не ранее, чем через сутки после проведения работ по усилению конструкции, но не позднее, чем окончание времени полной полимеризации композита.

4.13 При проведении работ по устройству огнезащиты системы внешнего армирования необходимо обеспечивать требуемую согласно действующим нормативным документам огнестойкость конструкций.

4.14 При производстве работ следует соблюдать правила по охране труда и технике безопасности, приведенные в Постановлении Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390, строительных нормах и правилах [10] и [11], правилах [12] и [13] и ГОСТ 12.0.004.

4.15 Устройство СВА с применением углеродных лент, тканей, сеток и ламинатов производится в следующей последовательности выполнения технологических операций:

- подготовка поверхности конструкции;
- подготовка усиливающих элементов;
- подготовка адгезива;
- наклейка усиливающих элементов;
- нанесение защитного покрытия.

4.16 Непосредственно после окончания работ по устройству СВА необходимо производить промывку оборудования от остатков использованных материалов.

4.17 При усилении сталебетонных и сталежелезобетонных конструкций ГТС, а также при работе с анкерными жгутами необходимо исключить прямой контакт углеродных элементов усиления со стальными частями конструкций.

5 Правила проектирования восстановления и усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования (СВА) из композитных материалов на основе углеродных волокон

5.1 Общие положения

5.1.1 Проектирование усиления или восстановления железобетонных конструкций гидросооружений следует проводить на основе анализа состояния указанных конструкций на всех этапах их жизненного цикла, проводимого в соответствии с Федеральным законом от 21.07.1997 № 117-ФЗ и Федеральным законом от 30.12.2009 № 384-ФЗ, результатов специальных натурных обследований, предусматриваемых проектами усиления и восстановления конструкции, а также результатов поверочных расчетов несущей способности, деформативности и трещиностойкости конструкций с учетом их реального состояния.

5.1.2 В результате специальных натурных обследований должны быть установлены:

- фактические геометрические размеры конструкции;

- характер и геометрия дефектов и повреждений, расположение и ширина раскрытия трещин;

- реальное армирование и характеристики арматуры;
- прочностные и деформационные характеристики бетона;
- наличие коррозии арматуры и нарушение сцепления арматуры с бетоном.

5.1.3 Натурные обследования следует проводить с учетом требований ГОСТ 31937, ГОСТ 17624, ГОСТ 22690, ГОСТ 22904 и ГОСТ 28570.

5.1.4 Поверочные расчеты следует проводить на основе проектных данных и результатов анализа данных натурных наблюдений и результатов специальных натурных обследований в соответствии с требованиями 5.1.3 и с учетом указаний СП 41.13330.2012, СП 63.13330.2012 и СП 164.13330.2014.

5.1.5 При проведении поверочных расчетов следует учитывать все изменения в геометрии конструкции, наличие трещин и раскрытия блочных швов, изменение физико-математических характеристик бетона и арматуры, наличие местных повреждений и нарушений, изменение величин действующих нагрузок и воздействий.

5.1.6 По результатам поверочных расчетов устанавливается возможность дальнейшей эксплуатации конструкции, необходимость ее восстановления или усиления.

5.1.7 Необходимость усиления конструкции определяется выполнением требований к несущей способности, деформативности и образованию трещин.

5.1.8 При невыполнении хотя бы одного из требований 5.1.7 проводятся необходимые расчеты параметров усиления конструкции в соответствии с подразделом 5.2.

5.2 Расчёт железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных системой внешнего армирования (СВА) из композитных материалов

5.2.1 Основные расчетные положения

5.2.1.1 Расчет усиления или восстановления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений следует производить на основе результатов их натурных обследований с учетом фактического состояния конструкции, геометрических размеров, армирования, прочности бетона, вида, класса и состояния арматуры, прогибов, расположения трещин и ширины их

раскрытия, размеров и характера дефектов и повреждений, действующих нагрузок.

5.2.1.2 Расчеты следует производить по первой и второй группе предельных состояний. Допускается при восстановлении конструкции не производить проверочные расчеты по эксплуатационной пригодности, если перемещения и ширина раскрытия трещин в существующих конструкциях при максимальных фактических нагрузках не превосходят допустимых значений, а усилия в сечениях элементов от проектных нагрузок не превышают значений усилий от фактически действующих нагрузок.

5.2.1.3 Расчет огнестойкости конструкций, усиление или восстановление которых выполнено без устройства противопожарной защиты системы внешнего армирования из полимерных композитов, следует производить без учета работы системы внешнего армирования.

5.2.1.4 Расчет конструкций, усиленных внешним армированием из полимерных композитов, следует производить по несущей способности, деформациям и трещиностойкости.

5.2.1.5 Расчет бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений необходимо производить по методу предельных состояний. Допускается производить расчет на основании нелинейной деформационной модели с учетом следующих положений:

- распределение относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимают по линейному закону (гипотеза плоских сечений);
- связь между осевыми напряжениями и относительными деформациями бетона и арматуры принимают в виде диаграмм состояния (деформирования) бетона и арматуры;
- сопротивление бетона растянутой зоны допускается не учитывать, принимая при $\varepsilon_{bt}=0$ напряжения $\sigma_{bt}=0$; в отдельных случаях (например, изгибаемые и внецентренно сжатые бетонные конструкции, в которых не допускают трещины) расчет по прочности производят с учетом работы растянутого бетона;
- связь между продольными напряжениями и относительными деформациями внешней продольной арматуры из полимерных композитов принимают линейной;
- для сжатых элементов с обоями из полимерных композитов связь между продольными напряжениями и относительными деформациями бетона

принимают с учетом неодноосного напряженного состояния.

5.2.2 Основные характеристики применяемых материалов

5.2.2.1 Характеристики бетона и арматуры усиливаемых железобетонных конструкций гидротехнических сооружений принимают в зависимости от проектных классов, указанных в проекте, с учетом данных обследования и с учетом требований СП 13-102-2003.

Условный класс бетона определяется с помощью переводных коэффициентов, обеспечивающих эквивалентную прочность по фактической средней прочности бетона, полученной по испытаниям бетона неразрушающими методами или по испытаниям отобранных из конструкции образцов.

Класс арматуры принимается по данным проектной документации. В случае отсутствия проектных данных условный класс арматуры определяется с помощью переводных коэффициентов, обеспечивающих эквивалентную прочность по фактическим значениям средней прочности арматуры, полученной по данным испытаний образцов арматуры, отобранных из обследуемых конструкций.

5.2.2.2 При отсутствии проектных данных и невозможности отбора образцов допускается класс арматуры устанавливать по виду профиля арматуры, а расчетные сопротивления принимать на 20% ниже соответствующих значений действующих нормативных документов, отвечающих данному классу.

5.2.2.3 Физико-механические свойства СВА FibArm в основном определяются типом, ориентацией и количеством армирующих волокон.

Для проектирования характеристики армирующей основы/ламинатов FibArm (нормативная прочность на растяжение и модуль упругости) определяются по данным механических испытаний образцов по ГОСТ 25.601 с обеспеченностью 0,95.

Механические свойства применяемых некоторых однонаправленных углеродных лент [1] и двупаправленных углеродных тканей [2] FibArm Tape и углепластиков на их основе с использованием связующего FibArm Resin [3-7] представлены в таблице 1.

Механические свойства применяемых ламинатов [8] из углеродного волокна представлены в таблице 2.

Механические свойства применяемых углеродных сеток [9] из углеродного волокна представлены в таблице 3.

Т а б л и ц а 1

тип ленты/ткань/ условное обозначение	Ширина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина ленты монослоя, мм	Модуль упругости, ГПа (волокна)	Прочность на растяжение, МПа (волокна)	Среднее значение модуля упругости, ГПа (ленты/ткань)	Среднее значение прочности на растяжение, МПа (ленты/ткань)*
Однонаправленные углеродные ленты							
FibArm Tape 230/300	300	230	0,128	245	4900	245	3600
FibArm Tape 300/300	300	300	0,167	245	4900	245	3600
FibArm Tape 530/300	300	530	0,294	245	4900	245	3600
FibArm Tape 530/150	150	530	0,294	245	4900	245	3600
FibArm Tape 530/600	600	530	0,294	245	4900	245	3600
Двунаправленные углеродные ткани							
FibArm Tape 240/1200	1200	240	0,066	245	4900	245	3600
FibArm Tape 300/1200	1200	300	0,083	245	4900	245	3600
FibArm Tape 450/1200	1200	450	0,125	245	4900	245	3600
Пр и м е ч а н и е – Указанные значения механических свойств являются ориентировочными и должны быть подтверждены механическими испытаниями ткани по ГОСТ 25.601							

Т а б л и ц а 2

ламель/ условное обозначение	Толщина, мм	Ширина, мм	Прочность на растяжение, МПа, не менее	Модуль упругости, ГПа, не менее
FibArm Lamel-12/50	1,2	50	2800	165
FibArm Lamel-12/100	1,2	100	2800	165
FibArm Lamel-14/50	1,4	50	2800	165
FibArm Lamel-14/100	1,4	100	2800	165
FibArm Lamel-14/120	1,4	120	2800	165
FibArm Lamel HS-12/50	1,2	50	3500	170
FibArm Lamel HS-12/100	1,2	100	3500	170
FibArm Lamel HS-14/50	1,4	50	3500	170

Окончание таблицы 2

ламель/ условное обозначение	Толщина, мм	Ширина, мм	Прочность на растяжение, МПа, не менее	Модуль упругости, ГПа, не менее
FibArm Lamel HS-14/100	1,4	100	3500	170
FibArm Lamel HS-14/120	1,4	120	3500	170
Пр и м е ч а н и е – Указанные значения механических свойств являются ориентировочными и должны быть подтверждены механическими испытаниями ткани по ГОСТ 25.601				

Т а б л и ц а 3

сетка/ условное обозначение	Ширина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Разрывная прочность, МПа, не менее (по основе)*	Разрывная прочность, МПа, не менее (по утку)*
FibArm Grid 150/1200	1200	150	2600	2100
FibArm Grid 260/1200	1200	260	2600	2100
FibArm Grid 600/1000	1000	600	1900	2900
FibArm Grid HS 600/1000	1000	600	2300	2300
Пр и м е ч а н и е – Указанные значения механических свойств являются ориентировочными и должны быть подтверждены механическими испытаниями сетки по ГОСТ 25.601 в соответствии с методикой ТУ [9].				

5.2.2.4 Характеристики всех применяемых однонаправленных углеродных лент и двунаправленных углеродных тканей для систем внешнего армирования FibArm приведены в ТУ [1, 2], углепластиковых ламелей (ламинатов) в ТУ [8], углеродных сеток в ТУ [9].

5.2.3 Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений по предельным состояниям первой группы

5.2.3.1 Общие положения

5.2.3.1.1 Расчет по прочности бетонных железобетонных конструкций, усиленных внешним армированием из полимерных композитов, следует

производить:

- при действии изгибающих моментов и продольных сил – по нормальным сечениям;

- при действии поперечных сил – по наклонным сечениям.

5.2.3.1.2 При расчете сжатых железобетонных элементов следует учитывать случайный эксцентриситет и влияние продольного изгиба.

5.2.3.1.3 При расчете железобетонных конструкций гидротехнических сооружений следует учитывать несущую способность усиливаемой конструкции. Для сильно поврежденных конструкций (при разрушении 50 % и более сечения бетона или 50 % и более площади сечения рабочей арматуры) несущая способность усиливаемой конструкции не учитывается.

5.2.3.1.4 При проектировании усиливаемых конструкций следует, как правило, предусматривать, чтобы нагрузка во время усиления не превышала 65 % расчетной величины. В случае усиления под большей нагрузкой расчетные характеристики бетона и существующей арматуры следует умножать на коэффициенты условий работы:

- бетона - $\gamma_{br1} = 0,9$;

- арматуры - $\gamma_{sr1} = 0,9$.

5.2.3.1.5 Расчет железобетонной конструкции, усиленной внешним армированием из полимерных композитов, следует производить с учетом начального напряженно-деформированного состояния конструкции перед ее усилением.

Расчет начального напряженно-деформированного состояния конструкции следует производить на действие фактической нагрузки без учета коэффициентов надежности по нагрузке.

5.2.3.2 Расчет по прочности нормальных сечений по предельным усилиям

5.2.3.2.1 Расчетное значение сопротивления растяжению следует принимать равным:

$$R_{fu} = E_f \varepsilon_{fu}, \quad (1)$$

где: E_f – модуль упругости материала внешнего армирования (для лент и сеток принимается значение модуля упругости ленты и сетки, для ламинатов – отвержденного композита);

ε_{fu} – предельные расчетные деформации композита, определяются по формуле:

$$\varepsilon_{fu} = k_m \cdot \varepsilon_{ft}, \quad (2)$$

где k_m – коэффициент условия работы материала внешнего, зависящий от жесткости элемента усиления:

$$\text{при } nE_{ft}t_f \leq 180000 \quad k_m = \frac{1}{60\varepsilon_n} \left(1 - \frac{nE_n t_f}{360000} \right) \leq 0,9, \quad (3)$$

$$\text{при } nE_{ft}t_f > 180000 \quad k_m = \frac{1}{60\varepsilon_n} \left(\frac{90000}{nE_n t_f} \right) \leq 0,9, \quad (4)$$

где n – число слоёв материала внешнего армирования (ленты, сетки или ламели);

t_f – безразмерный параметр, численно равный значению в мм толщины одного слоя материала (ленты, сетки или ламели);

Расчетная деформация растяжения:

$$\varepsilon_n = \frac{R_n}{E_f} \quad (5)$$

Расчетная прочность на растяжение внешнего армирования с учётом коэффициентов надежности условия работы C_E определяется по выражению:

$$R_n = \frac{C_E}{\gamma_f} R_f \quad (6)$$

Коэффициенты условий работы C_E для внешнего армирования принимаются в зависимости от условий окружающей среды по таблице 4.

Т а б л и ц а 4 – Коэффициенты условий работы C_E полимерного композита

Условия эксплуатации конструкции	Значение коэффициента C_E	
	Для ламинатов	Для полимерных композитов, армированных лентами, холстами, тканями
Во внутренних помещениях	0,95	0,9
На открытом воздухе	0,85	0,8
При контакте с водой	0,765	0,72

Значения коэффициента надежности γ_f для предельных состояний первой группы принимаются равными:

- для однонаправленных углеродных тканей – 1,2;
- для двунаправленных углеродных тканей – 1,8.

При расчете по предельным состояниям второй группы коэффициент надежности принимается равным 1,0.

5.2.3.2.2 Предельные усилия в усиленном сечении, нормальном к продольной оси элемента, следует принимать исходя из следующих предпосылок:

- сопротивление бетона растяжению принимают равным нулю;
- сопротивление бетона сжатию представляется напряжениями, равными R_b и равномерно распределенными по сжатой зоне бетона;
- деформации (напряжения) в арматуре определяют в зависимости от высоты сжатой зоны бетона;
- растягивающие напряжения в арматуре принимают не более расчетного сопротивления растяжению R_s ;
- сжимающие напряжения в арматуре принимают не более расчетного сопротивления сжатию R_{sc} .
- деформации сдвига в клеевом слое не учитываются;
- при расчете усиленной конструкции с учетом существующей стальной арматуры должно выполняться условие:

$$R_f \leq (\varepsilon_{s2} - \varepsilon_s^0) \cdot E_f, \quad (7)$$

где ε_{s2} – предельное значение относительной деформации стальной арматуры, принимаемое равным 0,025 – для арматуры с физическим пределом текучести и 0,015 – для арматуры с условным пределом текучести;

ε_s^0 – начальное значение относительной деформации существующей стальной арматуры конструкции, определяемое с учетом наличия трещин в растянутой зоне конструкции согласно указаниям 5.2.3.3.1.

5.2.3.2.3 Расчет по прочности нормальных сечений следует производить в зависимости от соотношения между значением относительной высоты сжатой зоны бетона $\xi = \frac{x}{h_0}$, определяемой из соответствующих условий равновесия, и значением граничной относительной высоты сжатой зоны ξ_{Rf} , при котором предельное состояние элемента наступает одновременно с достижением в полимерном композите значения напряжения, равного расчетному значению сопротивления R_f .

5.2.3.2.4 Значение ξ_{Rf} следует определять по формуле:

$$\xi_{Rf} = \frac{x_{Rf}}{h} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{fu} + \varepsilon_b^0}{\varepsilon_{b2}}}, \quad (8)$$

где ω – характеристика сжатой зоны бетона, принимаемая для тяжелого бетона равной 0,8;

ε_{fu} – расчетное значение предельных относительных деформаций, вычисляемое по формуле:

$$\varepsilon_{f,u} = \frac{R_f}{E_f}, \quad (9)$$

ε_{b2} – относительные деформации сжатого бетона при напряжениях R_b ;

ε_b^0 – значение относительной деформации сжатой грани бетона до усиления конструкции, определяемое согласно указаниям 5.2.3.3.1.

5.2.3.3 Изгибаемые элементы

5.2.3.3.1 При учете начального напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов, полученного ими до усиления, в формулах (7) и (8) значения начальной относительной деформации существующей стальной

арматуры ε_s^0 и начальной относительной деформации сжатого бетона ε_b^0 допускается определять по формулам:

$$\varepsilon_s^0 = \frac{M_0}{E_{b1} \cdot I_{red}} (h_0 - x_0), \quad (10)$$

$$\varepsilon_b^0 = \frac{M_0}{E_{b1} \cdot I_{red}} x_0, \quad (11)$$

где M_0 – изгибающий момент от фактической нагрузки, действующей на конструкцию до усиления, относительно оси, нормальной плоскости действия изгибающего момента и проходящей через центр тяжести приведенного поперечного сечения элемента;

E_{b1} – модуль деформации сжатого бетона;

I_{red} – момент инерции приведенного поперечного сечения относительно его центра тяжести;

x_0 – высота сжатой зоны бетона.

5.2.3.3.2 Расчет по прочности сечений изгибаемых элементов, усиленных внешним армированием из полимерных композитов, следует производить из условия:

$$\gamma_c \gamma_n M \leq \gamma_c M_{ult}, \quad (12)$$

где γ_c – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый:

при расчетах по первой группе предельных состояний:

- для основного сочетания нагрузок и воздействий в период нормальной эксплуатации – 1,00;

- то же, для периода строительства и ремонта – 0,95;

для особого сочетания нагрузок и воздействий:

- при особой нагрузке, в том числе сейсмической на уровне проектного землетрясения годовой вероятностью 0,01 и менее – 0,95;

- при особой нагрузке, кроме сейсмической, годовой вероятностью 0,001 и менее – 0,9;

- при сейсмической нагрузке уровня максимального расчетного землетрясения – 0,85;

- при расчетах по второй группе предельных состояний – 1,00.

Примечания

1 В основное сочетание нагрузок и воздействий в период нормальной эксплуатации, как правило, включают кратковременные нагрузки годовой вероятностью более 0,01.

2 Учет сейсмических воздействий следует выполнять по СП 14.13330.

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый:

- при расчетах по предельным состояниям первой группы:

для класса сооружений:

- I – 1,25;

- II – 1,20;

- III – 1,15;

- IV – 1,10;

- при расчетах по предельным состояниям второй группы – 1,00.

γ_c – коэффициент условий работы сооружения, принимаемый по строительным нормам и правилам на проектирование отдельных видов гидротехнических сооружений;

M – изгибающий момент от внешней нагрузки;

M_{ult} – предельный изгибающий момент, который может быть воспринят усиленным сечением элемента.

5.2.3.3.3 Значение M_{ult} для изгибаемых элементов симметричного относительно вертикальной оси сечения (рис. 1) при $\xi = \frac{x}{h} \leq \xi_{Rf}$ следует определять по формуле:

$$M_{ult} = \gamma_b R_b S_b + \gamma_s R_{sc} S'_s + \gamma_s R_{si} S'_{si} + R_f S_f, \quad (13)$$

где $\gamma_b = \gamma_{b1} \gamma_{b2} \gamma_{b3} \gamma_{b4} \gamma_{b13} \gamma_{b14} \gamma_{b15}$ – коэффициент условий работы бетона;

γ_s – коэффициент условий работы арматуры;

S_b, S'_s, S'_{si}, S_f – статические моменты площади поперечного сечения соответственно сжатой зоны бетона, сжатой стержневой, сжатой листовой арматуры и композита относительно точки приложения равнодействующей усилий в растянутой стержневой и листовой арматуре.

При этом положение нейтральной оси определяется из условия:

$$\gamma_b R_b A_b + \gamma_s R_{sc} A'_s + \gamma_s R_{si} A'_{si} = R_s A_s + R_f A_f, \quad (14)$$

где A_b , A'_s , A_s , A_{si} , A_f – площади поперечного сечения соответственно сжатой зоны бетона, сжатой и растянутой стержневой арматуры, сжатой листовой арматуры и композита.

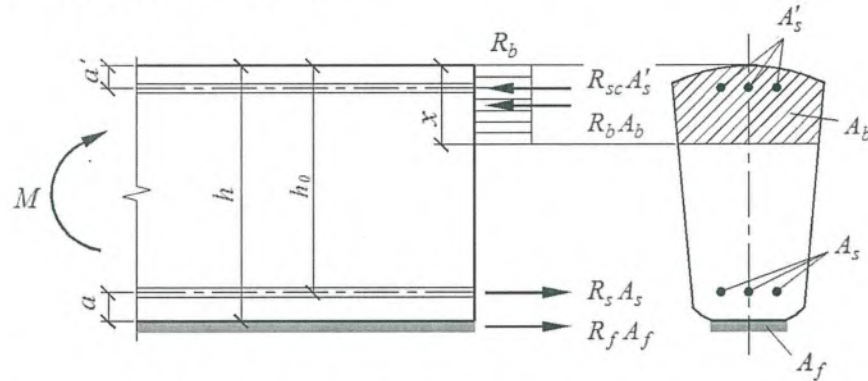


Рисунок 1 – Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого железобетонного элемента с внешним армированием из полимерных композитов, при его расчете по прочности

Для элементов прямоугольного сечения:

$$A_b = bx; A'_{si} = bd_{si};$$

$$S_b = A_b(h_0 - 0,5x); S'_s = A'_s(h_0 - a'); S'_{si} = A'_{si}(h_0 + 0,5d_{si}); S_f = A_f a.$$

где b, h – соответственно высота и ширина поперечного сечения элемента;

$$h_0 = h - a - \text{рабочая высота сечения.}$$

При отсутствии в рассматриваемой конструкции какого-либо элемента армирования (сжатой листовой и стержневой арматуры) в формулах следует принимать равными нулю соответствующие этим элементам армирования геометрические характеристики сечения.

Для железобетонных элементов прямоугольного сечения, не имеющих листовой арматуры, условия (6) и (7) принимают вид:

$$M_{ult} = \gamma_b R_b bx(h_0 - 0,5x) + \gamma_s R_{sc} A'_s(h_0 - a') + R_f A_f a, \quad (15)$$

$$\gamma_b R_b bx = \gamma_s R_s A_s - \gamma_s R_{sc} A'_s + R_f A_f. \quad (16)$$

5.2.3.3.4 При расчете по прочности изгибаемых элементов рекомендуется соблюдать условие: $x \leq \xi_{Rf} h$.

При $x > \xi_{Rf} h$ предельный изгибающий момент M_{ult} допускается определять по формулам:

$$M_{ult} = \gamma_b R_b b \bar{x} (h_0 - 0,5\bar{x}) + \gamma_s R_{sc} A'_s (h_0 - a') + \gamma_s R_{si} A'_{si} (h_0 + 0,5d'_{si}) + \sigma_f A_f a, \quad (17)$$

где σ_f – напряжение во внешней арматуре из полимерного композита.

Напряжение σ_f определяется по формуле:

$$\sigma_f = [\varepsilon_{b2} \left(\frac{\omega \cdot h}{x} - 1 \right) - k \cdot \varepsilon_{bt}^0] \cdot E_f, \quad (18)$$

где: ω следует принимать по указаниям п. 6.2.3;

ε_{bt}^0 – начальные деформации растянутой грани сечения, принимаемые равными:

$$\varepsilon_{bt}^0 = \frac{\varepsilon_s^0 \cdot h + \varepsilon_b^0 \cdot a}{h_0}. \quad (19)$$

В формулах (17) и (18) значения $\bar{x}$ и k следует принимать равными:

$$\text{– при } \xi_R \cdot h_0 > x > \xi_{Rf} \cdot h \quad \bar{x} = \xi_{Rf} \cdot h; k = 0;$$

$$\text{– при } x > \xi_R \cdot h_0 \quad \bar{x} = \xi_R \cdot h_0; k = 1.$$

Для элементов, симметричных относительно плоскости действия момента и нормальной силы, армированных ненапрягаемой арматурой, граничные значения ξ_R надлежит принимать по таблице 5.

Т а б л и ц а 5 – Граничные значения высоты сжатой зоны

Класс арматуры	Граничные значения ξ_R при классе бетона		
	В17,5 и ниже	от В20 до В30	В35 и выше
А-I	0,70	0,65	0,60
А-II, А-III, А500С, Вр-I	0,65	0,60	0,50

При нарушении условия (7) в формулах (14) - (17) следует принимать $A_s = 0$.

5.2.3.4 Сжатые элементы

5.2.3.4.1 Усиление сжатых железобетонных элементов производится путем устройства внешнего армирования из полимерных композитов в продольном направлении или путем устройства обоймы из полимерных композитов в поперечном направлении – для создания объемного напряженного состояния.

Усиление путем устройства обоймы сжатых элементов рекомендуется производить при следующих условиях:

- расчетное значение эксцентриситета приложения сжимающей силы должно быть менее 0,1D (для круглых сечений диаметром D) или менее 0,1 h (для прямоугольных сечений);

- соотношение сторон элементов прямоугольного сечения $\frac{h}{b}$ не должно превышать значение 1,5;

- размер стороны элементов прямоугольного сечения h не должен превышать 900 мм;

- гибкость элементов не должна превышать значение $\frac{l}{i} = 50$.

5.2.3.4.2 При расчете сжатых железобетонных элементов в начальном эксцентриситете приложения продольной силы следует учитывать случайный эксцентриситет e_0 , принимаемый не менее:

- $\frac{1}{600}$ длины элемента или расстояния между его сечениями, закрепленными от смещения;
- $\frac{1}{30}$ высоты сечения;
- 10 мм.

5.2.3.4.3 При учете начального напряженно-деформированного состояния внецентренно сжатого элемента, полученного им до усиления, в формулах (7) и (8) значения начальных относительной деформации стальной арматуры ε_s^0 и относительной деформации сжатого бетона ε_b^0 допускается определять по формулам:

$$\varepsilon_s^0 = \frac{N_0}{0,85E_b} \left[\frac{e(0,5h - a)}{I_{red}} - \frac{1}{A_{red}} \right], \quad (20)$$

$$\varepsilon_b^0 = \frac{N_0}{0,85E_b} \left[\frac{0,5he}{I_{red}} + \frac{1}{A_{red}} \right], \quad (21)$$

где N_0 – продольная сила от внешней нагрузки, действующей до усиления элемента;

e – расстояние от точки приложения силы N_0 до центра тяжести сечения растянутой или наименее сжатой (при полностью сжатом сечении элемента) арматуры, равное

$$e = e_0 \cdot \eta + \frac{h_0 - a'}{2}, \quad (22)$$

Здесь η – коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба (прогиба) элемента на его несущую способность (по 5.2.3.4.4);

I_{red} – момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести:

$$I_{red} = I + I_s \alpha + I'_s \alpha \quad (23)$$

I, I_s, I'_s – моменты инерции сечений бетона, растянутой арматуры и сжатой арматуры соответственно;

A_{red} – площадь приведенного поперечного сечения элемента, определяемая по формуле:

$$A_{red} = A + A_s \alpha + A'_s \alpha \quad (24)$$

α – коэффициент приведения арматуры к бетону;

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b};$$

A, A_s, A'_s – площади поперечного сечения бетона, растянутой и сжатой арматуры соответственно;

Параметры η, A_{red} и I_{red} определяются без учета внешнего армирования полимерными композитами.

5.2.3.4.4 Значение коэффициента η при расчете конструкций по недеформированной схеме определяют по формуле:

$$\eta = \frac{I}{I - \frac{N}{N_{cr}}}, \quad (25)$$

где N – продольная сила от внешней нагрузки;

N_{cr} – условная критическая сила, определяемая по формуле:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot D}{l_0^2}, \quad (26)$$

где D – жесткость железобетонного элемента в предельной по прочности стадии, определяемая согласно указаниям расчета по деформациям;

l_0 – расчетная длина элемента.

Допускается значение D определять по формуле:

$$D = k_b E_b I + k_s E_s I_s, \quad (27)$$

где E_b, E_s – модули упругости бетона и арматуры соответственно;

I, I_s – моменты инерции площадей сечения бетона и всей продольной арматуры соответственно относительно оси, проходящей через центр тяжести поперечного сечения элемента;

$$k_b = \frac{0.15}{\varphi_l(0.3 + \delta_e)}, \quad (28)$$

$$k_s = 0.7;$$

φ_l – коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки,

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_{II}}{M_I}, \text{ но не более } 2.$$

здесь M_I, M_{II} – моменты относительно центра наиболее растянутого или наименее сжатого (при целиком сжатом сечении) стержня соответственно от действия полной нагрузки и от действия постоянных и длительных нагрузок;

δ_e – относительное значение эксцентриситета продольной силы $\frac{e_0}{h}$,

принимаемое не менее 0,15 и не более 1,5.

Допускается уменьшать значение коэффициента η с учетом распределения изгибающих моментов по длине элемента, характера его деформирования и влияния прогибов на значение изгибающего момента в расчетном сечении путем расчета конструкции как упругой системы.

5.2.3.5 Усиление внешним армированием в продольном направлении

5.2.3.5.1 Расчет по прочности прямоугольных сечений внецентренно сжатых элементов, усиленных внешним армированием из полимерных композитов в продольном направлении (рис. 2) следует производить из условия:

$$\gamma_{lc} \gamma_n N e \leq \gamma_c (\gamma_b R_b S_b + \gamma_s R_{sc} S'_s + \gamma_s R_{si} S'_{si} + R_f S_f), \quad (29)$$

где N – продольная сила от внешней нагрузки;

x – высота сжатой зоны.

При этом положение нейтральной оси при $\xi = \frac{x}{h} \leq \xi_{Rf}$ определяется из условия:

$$\gamma_{lc} \gamma_n N \leq \gamma_c (\gamma_b R_b A_b + \gamma_s R_{sc} A'_s + \gamma_s R_{si} A'_{si} - \gamma_s R_s A_s - R_f A_f) \quad (30)$$

При $\frac{x}{h_0} \leq \xi_R$ и $\frac{x}{h} \geq \xi_{Rf}$ положение нейтральной оси определяется из условия:

$$\gamma_{lc}\gamma_n N \leq \gamma_c (\gamma_b R_b A_b + \gamma_s R_{sc} A'_s + \gamma_s R_{si} A'_{si} - \gamma_s R_s A_s - \sigma_f A_f), \quad (31)$$

где σ_f — напряжение в композите, определяемое по формуле:

$$\sigma_f = R_f \left(2 \frac{1-x/h}{1-\xi_{Rf}} - 1 \right). \quad (32)$$

При $\frac{x}{h_0} \geq \xi_R$ положение нейтральной оси определяется из условия:

$$\gamma_{lc}\gamma_n N \leq \gamma_c (\gamma_b R_b A_b + \gamma_s R_{sc} A'_s + \gamma_s R_{si} A'_{si} - \gamma_s \sigma_s A_s - \sigma_f A_f), \quad (33)$$

где σ_f — напряжение в композите, определяемое по формуле (8);

σ_s — напряжение в стержневой растянутой арматуре, определяемое по формуле:

$$\sigma_s = R_s \left(2 \frac{1-x/h_0}{1-\xi_R} - 1 \right). \quad (34)$$

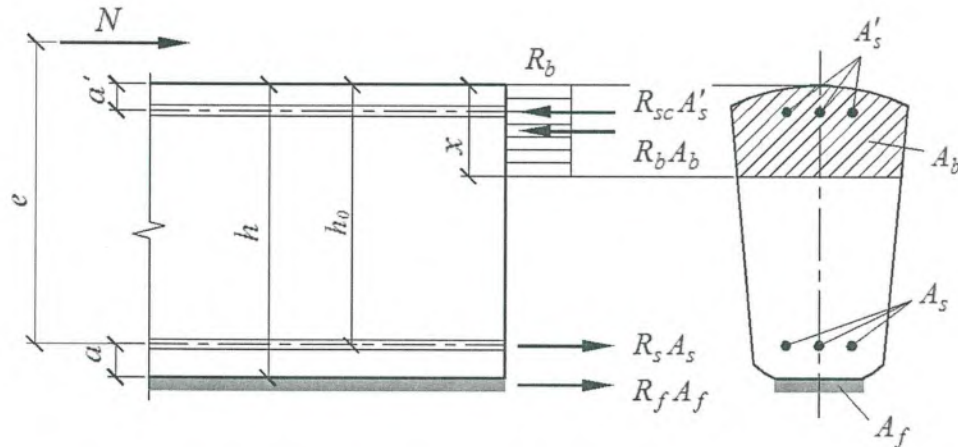


Рисунок 2 — Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого железобетонного элемента с внешним армированием из полимерных композитов, при расчете по прочности

Для железобетонных элементов прямоугольного сечения, не имеющих листовой арматуры условие (29) принимает вид:

$$\gamma_{lc}\gamma_n N e \leq \gamma_c (\gamma_b R_b b x (h_0 - 0,5x) + \gamma_s R_{sc} A'_s (h_0 - a') + R_f A_f a), \quad (35)$$

При $\xi = \frac{x}{h} \leq \xi_{Rf}$ значение высоты сжатой зоны x в формуле (35) следует принимать равным:

$$x = \frac{N + \gamma_s R_s A_s - \gamma_s R_{sc} A'_s + R_f A_f}{\gamma_b R_b b}. \quad (36)$$

При $\frac{x}{h_0} \leq \xi_R$ и $\frac{x}{h} \geq \xi_{Rf}$ значение высоты сжатой зоны x в формуле (35) следует принимать равным:

$$x = \frac{N + \gamma_s R_s A_s + R_f A_f \frac{1+\xi_{Rf}}{1-\xi_{Rf}} - \gamma_s R_{sc} A'_s}{\gamma_b R_b b + \frac{2R_f A_f}{h(1-\xi_{Rf})}}. \quad (37)$$

При $\frac{x}{h_0} \geq \xi_R$ значение высоты сжатой зоны x в формуле (35) следует определять по формуле:

$$x = \frac{N + \gamma_s R_s A_s \frac{1+\xi_R}{1-\xi_R} + R_f A_f \frac{1+\xi_{Rf}}{1-\xi_{Rf}} - \gamma_s R_{sc} A'_s}{\gamma_b R_b b + \frac{2R_s A_s}{h_0(1-\xi_R)} + \frac{2R_f A_f}{h(1-\xi_{Rf})}}. \quad (38)$$

5.2.3.6 Усиление внешним армированием растянутых элементов

5.2.3.6.1 Центально растянутые сталежелезобетонные (железобетонные) элементы должны удовлетворять следующему условию прочности:

$$\gamma_{lc}\gamma_n N \leq \gamma_c (\gamma_s R_s A_s + \gamma_s R_{si} A'_{si} + R_f A_f) \quad (39)$$

Для элементов прямоугольного сечения $A_{si} = b d_{si}$.

Для железобетонных (не имеющих листовой арматуры) элементов условие (39) принимает вид:

$$\gamma_{lc}\gamma_n N \leq \gamma_c (\gamma_s R_s A_s + R_f A_f) \quad (40)$$

Примечание - К центрально растянутым относятся элементы, в которых линия действия продольной силы N совпадает с равнодействующей усилий во всей стальной арматуре поперечного сечения элемента.

5.2.3.6.2 Сталежелезобетонные элементы водоподводящего тракта ГЭС и ГАЭС (турбинные водоводы, их развилки и колена, турбинные блоки, затворные камеры и др.), сталежелезобетонные конструкции, расположенные в массиве гравитационных плотин и других сооружений, условия наступления предельных состояний которых выражаются через напряжения, при однозначной эпюре напряжений в расчетных сечениях рассчитываются из условий:

$$\gamma_{lc}\gamma_n \sigma_s \leq \gamma_c \gamma_s R_s, \quad (41)$$

$$\gamma_{lc}\gamma_n \sigma_{si} \leq \gamma_c \gamma_s R_{si}, \quad (42)$$

$$\gamma_{lc}\gamma_n \sigma_f \leq \gamma_c \gamma_f R_f, \quad (43)$$

где σ_s , σ_{si} и σ_f – растягивающие напряжения соответственно в стержневой арматуре, в облицовке и во внешнем армировании.

5.2.3.7 Усиление внешним армированием в поперечном направлении

5.2.3.7.1 Расчет по прочности сечений внецентренно сжатых элементов, усиленных внешним армированием из полимерных композитов в поперечном направлении, следует производить с учетом повышения прочности бетона при объемном напряженном состоянии (см. рис. 3).

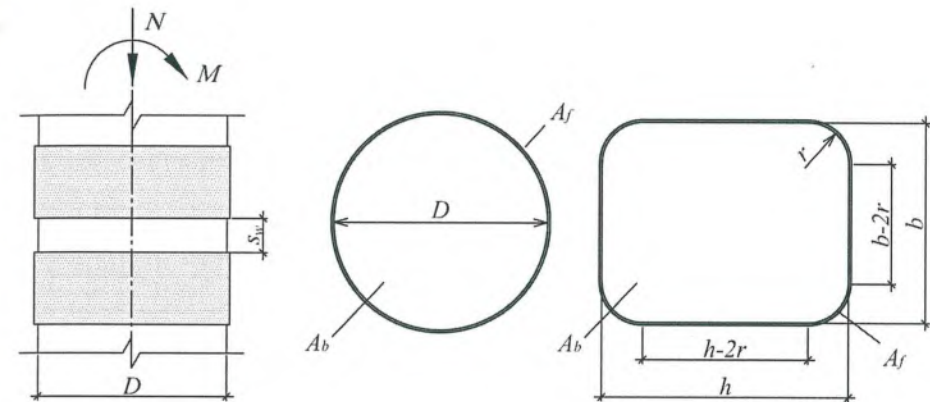


Рисунок 3 – Усиление внешним армированием из полимерных композитов в поперечном направлении

Расчетные значения сопротивления бетона сжатию в осевом направлении следует определять по формуле:

$$R_{b3} = R_b + k_{ef} k_e R_f \mu_f, \quad (44)$$

где k_{ef} – коэффициент эффективности обоймы, принимаемый равным:

– для элементов круглого сечения $k_{ef} = 1,0$;

– для элементов прямоугольного сечения с соотношением сторон $h/b \leq 1,5$ – по формуле:

$$k_{ef} = 1 - \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{2bh}, \quad (45)$$

где r – радиус закругления граней сечения;

– для элементов прямоугольного сечения с соотношением сторон $\frac{h}{b} > 1,5$ или при $h > 900$ мм, а также при эксцентриситете приложения сжимающей силы $\frac{M}{N} \cdot \eta$ более $0,1D$ (для круглых сечений диаметром D) или более $0,1h$ (для прямоугольных сечений) следует принимать $k_{ef} = 0$;

k_e – коэффициент, учитывающий наличие разрывов по высоте обоймы, принимаемый равным:

- для сплошных обойм (при $s_w = 0$) – 1,0;
- для обойм с разрывами для элементов круглого сечения (см. рис. 3)

$$k_e = \left(1 - \frac{s_w}{2D}\right)^2, \quad (46)$$

где s_w – расстояние между отдельными витками обоймы;

μ_f – коэффициент армирования, вычисляемый по формуле:

$$\mu_f = \frac{A_f}{A}. \quad (47)$$

A и R_b – площадь охваченного обоймой поперечного сечения бетона и нормативное сопротивление бетона осевому сжатию при одноосном напряженном состоянии;

A_f – площадь поперечного сечения обоймы из полимерного композита;

R_f – расчетное сопротивление растяжению полимерного композита, определяемое по формуле:

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot R_{f,n}}{\gamma_f}, \quad (48)$$

где значение коэффициента γ_{f2} следует принять равным 1,0.

Для обойм с разрывами для элементов прямоугольного сечения значение коэффициента k_e допускается определять по формуле (46), подставляя в нее вместо D значение $(\sqrt{h^2 + b^2} - 2r)$.

Для элементов прямоугольного сечения в формуле (44) следует принимать $k_{ef} k_e \leq 0,5$.

5.2.3.7.2 Расчет по прочности внецентренно сжатых элементов прямоугольного сечения, усиленных внешним армированием из полимерных композитов в поперечном направлении, следует производить из условия:

$$\gamma_{lc} \gamma_n N e \leq \gamma_c (\gamma_b R_{b3} b x (h_0 - 0,5x) + \gamma_s R_{sc} A'_s (h_0 - a')), \quad (49)$$

при этом значение высоты сжатой зоны x следует определять:

а) при $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_{R3}$ – по формуле:

$$x = \frac{N + \gamma_s \cdot R_s \cdot A_s - \gamma_s \cdot R_{sc} \cdot A'_s}{\gamma_b \cdot R_{b3} \cdot b}, \quad (50)$$

б) при $\xi = \frac{x}{h_0} > \xi_{R3}$ по формуле:

$$x = \frac{N + \gamma_s \cdot R_s \cdot A_s \cdot \frac{1 + \xi_{R3}}{1 - \xi_{R3}} - \gamma_s \cdot R_{sc} \cdot A'_s}{\gamma_b \cdot R_{b3} \cdot b + \frac{2 R_s \cdot A_s}{h_0 (1 - \xi_{R3})}}, \quad (51)$$

здесь ξ_{R3} – граничное значение относительной высоты сжатой зоны, вычисляемое учетом объемного напряженного состояния бетона:

$$\xi_{R3} = \frac{x_{R3}}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b3}}}, \quad (52)$$

$$\varepsilon_{b3} = \varepsilon_{b2} + 2\mu_f \frac{R_{f,n}}{E_b}. \quad (53)$$

5.2.3.7.3 Расчет по прочности круглых сечений внецентренно сжатых элементов, усиленных внешним армированием из полимерных композитов в поперечном направлении (см. рис. 4) со стальной арматурой, равномерно распределенной по окружности (при числе продольных стержней не менее 7), при классе арматуры не выше А400 следует производить из условия

$$\gamma_{lc}\gamma_n Ne \leq \gamma_c \left(\frac{2}{3} \gamma_b R_{b3} A r \frac{\sin^3 \pi \xi_{sir}}{\pi} + \gamma_s R_s A_{s,tot} \left(\frac{\sin \pi \xi_{sir}}{\pi} + \varphi \right) r_s \right), \quad (54)$$

где r – радиус поперечного сечения;

ξ_{cir} – относительная площадь сжатой зоны бетона, определяемая:

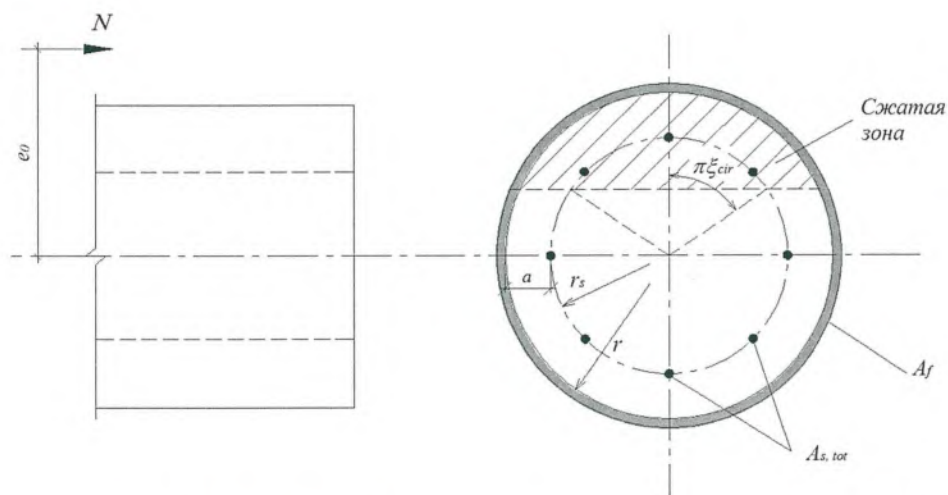


Рисунок 4 – Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси сжатого элемента круглого сечения с внешним армированием из полимерных композитов в поперечном направлении

а) при выполнении условия

$$N \leq 0,77 R_{b3} A + 0,645 R_s A_{s,tot}, \quad (55)$$

из решения уравнения

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_{b3} A \frac{\sin 2\pi \xi_{sir}}{2\pi}}{R_{b3} A + R_s A_{s,tot}}; \quad (56)$$

б) при невыполнении условия (47) - из решения уравнения

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_s A_{s,tot} + R_{b3} A \frac{\sin 2\pi \xi_{sir}}{2\pi}}{R_{b3} A + 2,55 R_s A_{s,tot}}, \quad (57)$$

где φ – коэффициент, учитывающий работу растянутой арматуры и принимаемый равным:

при выполнении условия (55) $\varphi = 1,6 (1 - 1,55 \xi_{cir}) \xi_{cir}$, но не более 1,0;

при невыполнении условий (55) $\varphi = 0$;

$A_{s,tot}$ – площадь сечения всей продольной арматуры;

r_s – радиус окружности, проходящей через центры тяжести стержней продольной арматуры.

5.2.3.8 Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента

5.2.3.8.1 Расчет по прочности наклонных сечений железобетонных элементов, усиленных внешним армированием из полимерных композитов в виде двухсторонних, трехсторонних или замкнутых хомутов (см. рис. 5) следует производить по прочности бетонной полосы между наклонными трещинами, по наклонным сечениям на действие поперечных сил и по наклонным сечениям на действие моментов.

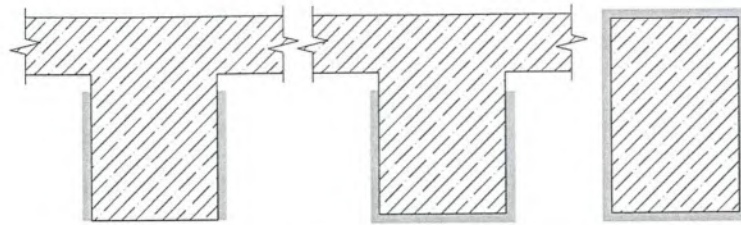


Рисунок 5 – Схемы усиления наклонных сечений элементов

Влияние внешнего армирования из полимерных материалов на расчет изгибаемых элементов по прочности бетонной полосы между наклонными трещинами не установлена и расчет необходимо производить в соответствии с нормативными документами для расчета рассматриваемого элемента.

5.2.3.8.2 Расчет изгибаемых элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил следует производить из условия (см. рис. 6):

$$\gamma_{lc}\gamma_n Q \leq \gamma_c (Q_b + Q_{sw} + Q_{fw}), \quad (58)$$

где Q – поперечная сила в наклонном сечении с длиной проекции S на продольную ось элемента, определяемая от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения; при этом учитывают наиболее опасное загружение в пределах наклонного сечения;

Q_b – поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении;

Q_{sw} – поперечная сила, воспринимаемая стальной поперечной арматурой в наклонном сечении;

Q_{fw} – поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой из полимерных композитов в наклонном сечении.

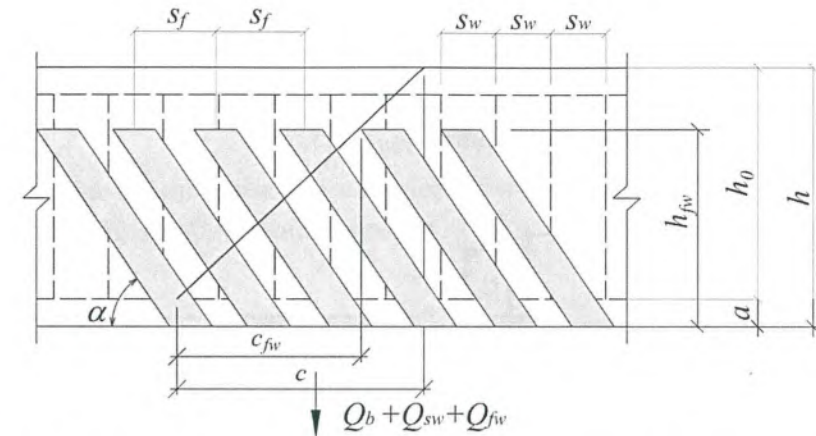


Рисунок 6 – Схема усилий при расчете железобетонных элементов с внешним армированием из полимерных композитов по наклонному сечению на действие поперечных сил

5.2.3.8.3 Поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны в наклонном сечении, определяемое по формуле

$$Q_b = \varphi_2 \varphi_3 \gamma_j \gamma_{btj} R_{bt} b h_0 \operatorname{tg} \beta, \quad (59)$$

где $\varphi_2=0,5+2\xi$;

$\varphi_3=1,0$ – для элементов с высотой сечения $h < 0,6$ м;

0,83 – для элементов с высотой сечения $h \geq 0,6$ м;

γ_j – коэффициент, учитывающий размещение строительных швов в зоне действия поперечных сил, принимаемый по таблице 6.

Т а б л и ц а 6 – Значения коэффициента γ_i

l_j/h_j	0,45 и меньше	От 0,46 до 0,64	0,65 и выше
γ_j	1,0	$1 - \left(\left(\frac{l_j}{h_j} \right) - 0,45 \right)$	0,80

Примечания

Обозначения, принятые в таблице 6:

l_j — расстояние между сечением по шву и нормальным сечением, проходящим через конец наклонного сечения в сжатой зоне (см. рис. 7);

h_j — высота сечения по шву.

Для гидротехнических сооружений коэффициент условий работы растянутого бетона железобетонных конструкций, учитывающий влияние строительных швов, следует принимать $\gamma_{btj} = 0,5$.

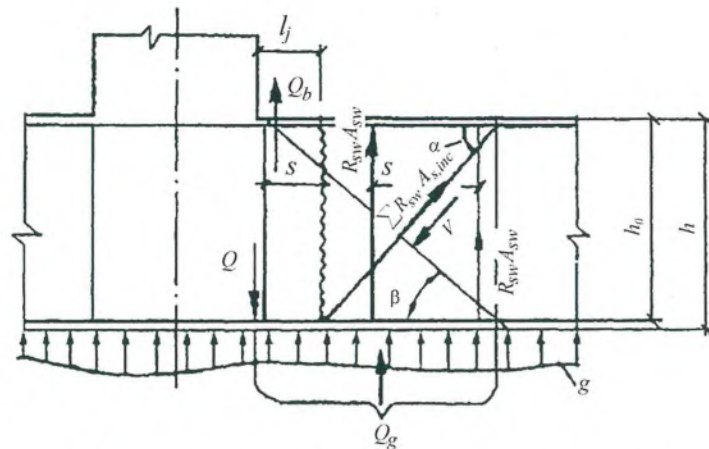


Рисунок 7 – Схема к расчету наклонного сечения

Относительная высота сжатой зоны сечения ξ определяется по формулам:
– для изгибаемых элементов

$$\xi = \mu \frac{R_s}{R_b}, \quad (60)$$

– для внецентренно сжатых во всех случаях и внецентренно растянутых элементов с большим эксцентриситетом

$$\xi = \mu \frac{R_s}{R_b} \pm \frac{N}{bh_0 R_b}. \quad (61)$$

Для внецентренно растянутых элементов с малым эксцентриситетом следует принимать $Q_b = 0$.

Угол между наклонным сечением и продольной осью элемента определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2}{1 + \frac{M}{Qh_0}}. \quad (62)$$

Значение $\operatorname{tg} \beta$ принимается не более 1,5 и не менее 0,5.

Допускается поперечное усилие Q_b в условии (58) определять по формулам:

$$Q_{b1} = \frac{[0,6 \varphi_s \varphi_3 (1 + \varphi_n) \gamma_j \gamma_{btj} R_{bt} b h_0^2]}{c}, \quad (63)$$

но не более

$$Q_{b1} = \varphi_s \varphi_3 (1 + \varphi_n) \gamma_j \gamma_{btj} R_{bt} b h_0, \quad (64)$$

$$Q_{b2} = \frac{[0,8 \varphi_s \varphi_3 (1 + \varphi_n) \gamma_j \gamma_{btj} R_{bt} b h_0]}{\left[1 + \frac{M}{Qh_0}\right]}, \quad (65)$$

где φ_s – коэффициент, учитывающий влияние продольной арматуры, определяемый по формуле:

$$\varphi_s = 1 + \frac{50 A_s}{b h_0} \quad (66)$$

и принимаемый не более 2,0;

φ_n – коэффициент, учитывающий влияние продольных сил (с учетом противодействия), определяемый по формулам:

– при действии продольных сжимающих сил:

$$\varphi_n = \frac{0,1N}{R_{bt}bh_0}, \quad (67)$$

принимаемый не более 0,5;

– при действии продольных растягивающих сил:

$$\varphi_n = \frac{0,2N}{R_{bt}bh_0}, \quad (68)$$

принимаемый не более 0,8 по абсолютной величине;

C – длина проекции наклонного сечения на продольную ось элемента, отсчитывая от опоры.

В общем случае расчета элемента следует задаваться рядом сечений s . При действии на элемент сосредоточенных сил значения s принимаются равными расстояниям от опоры до точки приложения этих сил.

При действии на элемент распределенной нагрузки интенсивностью g_1 значение s определяется по формуле:

$$s = \left\{ \frac{[0,6\varphi_s(1+\varphi_n)\gamma_j\gamma_{bt}R_{bt}bh_0^2]}{g_1} \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (69)$$

Для гидротехнических сооружений, подверженных действию многократно повторяющихся нагрузок (например, стены шлюзов), поперечное усилие, воспринимаемое бетоном Q_b , определяемое по формуле (59), и Q_{bt} , определяемое по формуле (63), с учетом влияния строительных швов следует принимать равным нулю.

5.2.3.8.4 поперечное усилие, воспринимаемое хомутами в пределах наиболее опасного наклонного сечения и определяемое по формуле:

$$Q_{sw} = q_{sw} \left\{ \frac{[0,6\varphi_s(1+\varphi_n)\gamma_j\gamma_{bt}R_{bt}bh_0^2]}{q_{sw}} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (70)$$

где q_{sw} – усилие в хомутах на единицу длины элемента в пределах наклонного сечения, определяемое по формуле:

$$q_{sw} = \frac{\gamma_s R_{sw} A_{sw}}{s}, \quad (71)$$

где s – шаг хомутов.

Расстояние между поперечными стержнями (хомутами), между концом предыдущего и началом последующего отгиба, а также между опорой и концом отгиба, ближайшего к опоре, должно быть не более величины S_{max} , определяемой по формуле:

$$S_{max} = \frac{\gamma_c \gamma_{bt} \varphi_2 R_{bt} b h_0^2}{\gamma_{lc} \gamma_n Q_1}. \quad (72)$$

5.2.3.8.5 Поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой из полимерных композитов в наклонном сечении определяется по формуле:

$$Q_{fw} = \psi_f A_{f,sh} \sigma_{fu}, \quad (73)$$

где ψ_f – коэффициент, зависящий от принятой схемы наклейки, принимаемый равным:

- для замкнутых хомутов – 0,95;
- для двух и трехсторонних хомутов – 0,85;

Напряжение в хомутах внешнего армирования:

$$\sigma_{fu} = \varepsilon_{fe} E_f;$$

$A_{f,sk}$ – площадь сечения хомутов.

5.2.3.8.6 При расчете изгибаемых элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил в условии (58) следует принимать

$$Q_{sw} + Q_{fw} \leq 2,5 R_{bt} \cdot b \cdot h_0. \quad (74)$$

5.2.3.8.7 При проектировании усиления наклонных сечений следует

обеспечивать соблюдение условия:

$$Q_{sw} + Q_{fw} \geq 0,5 R_{bt} \cdot b \cdot h_0. \quad (75)$$

5.2.3.8.8 Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие изгибающих моментов следует производить из условия:

$$\gamma_{lc} \gamma_n M \leq \gamma_c (\gamma_s R_s A_s z + \sum \gamma_s R_{sw} A_{s,inc} z_{s,inc} + \sum \gamma_s R_{sw} A_{sw} z_{sw} + \sum \Psi_f \sigma_{fu} A_{f,sh} z_{f,sh}), \quad (76)$$

где M – момент в наклонном сечении с длиной проекции C на продольную ось элемента, определяемый от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения;

$\gamma_s R_s A_s z$, $\sum \gamma_s R_{sw} A_{s,inc} z_{s,inc}$, $\sum \gamma_s R_{sw} A_{sw} z_{sw}$, $\sum \Psi_f \sigma_{fu} A_{f,sh} z_{f,sh}$ – суммы моментов относительно той же оси соответственно от усилий в продольной стальной арматуре, в отогнутых стержнях и хомутах стальной арматуры, в поперечной арматуре из полимерных композитов, пересекающих растянутую зону наклонного сечения.

Если наклонное сечение расположено в зоне изменения знака изгибающего момента, проверку на изгиб следует производить относительно точек пересечения наклонного сечения с продольной арматурой, расположенной у обеих граней. При этом следует принимать $Q_b = 0$.

Высота сжатой зоны в наклонном сечении, измеренная по нормали к продольной оси элемента, определяется в соответствии с требованиями 5.2.3.5.1.

$A_{s,inc}$ и α – соответственно площадь сечения и угол наклона отогнутых стержней, расположенных в пределах участка длиной l_g ;

$$l_g = \frac{\gamma_{lc} \gamma_n Q - 0,75 \gamma_c \gamma_s R_{sw} A_{s,inc} \sin \alpha}{1,5 q_{sw}} + 5d, \quad (77)$$

где Q – поперечная сила в нормальном сечении, проходящем через точку теоретического обрыва стержня;

q_{sw} – усилие в хомутах на единицу длины элемента на участке длиной l_g , определяемое по формуле:

$$q_{sw} = \frac{\gamma_s R_{sw} A_{sw}}{s}, \quad (78)$$

где d – диаметр обрываемого стержня, см;
если выполняется условие:

$$\gamma_{lc} \gamma_n Q \leq 0,25 \gamma_c \gamma_{b7} R_{bt,ser} b h_0, \quad (79)$$

в конструкциях на упругом основании, за исключением подпорных стен.
значение момента M_f принимать равным:

$$M_f = 0,5 Q_{fw} c. \quad (80)$$

5.2.4 Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений по предельным состояниям второй группы

5.2.4.1 Расчет по образованию трещин

5.2.4.1.1 Расчет усиленных изгибаемых железобетонных элементов по образованию трещин следует производить из условия:

$$M > M_{crc}, \quad (81)$$

где M – изгибающий момент от внешней нагрузки относительно оси, нормальной к плоскости действия момента и проходящей через центр тяжести приведенного поперечного сечения элемента;

M_{crc} – изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента в момент образования трещин.

5.2.4.1.2 Для элементов прямоугольного, таврового или двутаврового сечения с арматурой, расположенной у верхней и нижней граней, момент

образования трещин с учетом неупругих деформаций растянутого бетона допускается определять по упрощенной методике по формуле:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} \pm N e_x, \quad (82)$$

где W_{pl} – упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона;

e_x – расстояние от точки приложения продольной силы N (расположенной в центре тяжести приведенного сечения элемента) до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, трещинообразование которой проверяется.

В формуле (82) знак «плюс» принимают при сжимающей продольной силе N , «минус» – при растягивающей силе.

Для конструкций с прямоугольной, тавровой и двутавровой формами поперечных сечений значение W_{pl} при действии момента в плоскости оси симметрии допускается принимать равным:

$$W_{pl} = \gamma \cdot W_{red}, \quad (83)$$

где γ – коэффициент, значение которого принимается по таблице 7;

W_{red} – упругий момент сопротивления приведенного сечения по растянутой зоне сечения, определяемый в соответствии с указаниями п. 5.2.4.1.3.

Т а б л и ц а 7 – Значения коэффициента γ

Форма сечения	Коэффициент γ
Прямоугольное и тавровое с полкой, расположенной в сжатой зоне	1,3
Тавровое с полкой, расположенной в растянутой зоне:	
- при $\frac{b_f}{b} \leq 2$ независимо от отношения $\frac{h_f}{h}$	1,25
- при $\frac{b_f}{b} > 2$ и $\frac{h_f}{h} \geq 0,2$	1,25
- при $\frac{b_f}{b} > 2$ и $\frac{h_f}{h} < 0,2$	1,20

Окончание таблицы 7

Форма сечения	Коэффициент γ
Двутавровое симметричное (коробчатое):	
- при $\frac{b'_f}{b} = \frac{b_f}{b} \leq 2$ независимо от отношения $\frac{h_f}{h} = \frac{h'_f}{h}$	1,30
- при $2 < \frac{b'_f}{b} = \frac{b_f}{b} \leq 6$ независимо от отношения $\frac{h_f}{h} = \frac{h'_f}{h}$	1,25
- при $\frac{b'_f}{b} = \frac{b_f}{b} > 6$ и $\frac{h_f}{h} = \frac{h'_f}{h} \geq 0,2$	1,25
- при $6 < \frac{b'_f}{b} = \frac{b_f}{b} \leq 15$ и $\frac{h_f}{h} = \frac{h'_f}{h} < 0,2$	1,20
- при $\frac{b'_f}{b} = \frac{b_f}{b} \geq 15$ и $\frac{h_f}{h} = \frac{h'_f}{h} < 0,2$	1,15
Двутавровое несимметричное при $\frac{b'_f}{b} \leq 3$:	
- при $\frac{b_f}{b} \leq 2$ независимо от отношения $\frac{h_f}{h}$	1,30
- при $2 < \frac{b_f}{b} \leq 6$ независимо от отношения $\frac{h_f}{h}$	1,25
- при $\frac{b_f}{b} > 6$ и $\frac{h_f}{h} > 0,1$	1,25
Двутавровое несимметричное при $3 < \frac{b'_f}{b} < 8$:	
- при $\frac{b_f}{b} \leq 4$ независимо от отношения $\frac{h_f}{h}$	1,25
- при $\frac{b_f}{b} > 4$ и $\frac{h_f}{h} \geq 0,2$	1,25
- при $\frac{b_f}{b} > 4$ и $\frac{h_f}{h} < 0,2$	1,20
Двутавровое несимметричное при $\frac{b'_f}{b} \geq 8$:	
- при $\frac{h_f}{h} > 0,3$	1,35
- при $\frac{h_f}{h} \leq 0,3$	1,30

П р и м е ч а н и е - b и h – ширина ребра и высота сечения; b_f и h_f – ширина и толщина полки, расположенной в растянутой зоне сечения; b'_f и h'_f – ширина и толщина полки, расположенной в сжатой зоне сечения.

5.2.4.1.3 Момент сопротивления W_{red} и расстояние e_x определяют по формулам:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t}; \quad (84)$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}}, \quad (85)$$

где I_{red} – момент инерции приведенного поперечного сечения относительно его центра тяжести, определяемый с учетом внешней арматуры из полимерных композитов:

$$I_{red} = I + I_s \cdot \alpha + I'_s \cdot \alpha + I_f \cdot \alpha_f. \quad (86)$$

I , I_s , I'_s и I_f – моменты инерции сечений соответственно бетона, растянутой стальной арматуры, сжатой стальной арматуры и внешней арматуры из полимерных композитов относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения;

A_{red} – площадь сечения приведенного поперечного сечения элемента, определяемая по формуле:

$$A_{red} = A + A_s \cdot \alpha + A'_s \cdot \alpha + A_f \cdot \alpha_f, \quad (87)$$

где α и α_f – коэффициенты приведения стальной арматуры и внешней арматуры из полимерных композитов к бетону, определяемые по формулам:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b}; \quad \alpha_f = \frac{E_f}{E_b}, \quad (88)$$

где A , A_s , A'_s и A_f – площади поперечного сечения соответственно бетона, растянутой стальной арматуры, сжатой стальной арматуры и внешней арматуры из полимерных композитов;

y_t – расстояние от наиболее растянутого волокна бетона до центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента, определяемое по формуле:

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}}, \quad (89)$$

где $S_{t,red}$ – статический момент площади приведенного поперечного сечения элемента относительно наиболее растянутого волокна бетона.

Допускается момент сопротивления W_{red} определять без учета стальной арматуры и внешней арматуры из полимерных композитов.

5.2.4.2 Расчет ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента

5.2.4.2.1 В нетрещиностойких стержневых элементах расчет по раскрытию нормальных к продольной оси трещин следует выполнять из условия:

$$a_{cr} \leq \gamma_c \Delta_{cr}, \quad (90)$$

где a_{cr} – расчетная ширина раскрытия трещин, мм;

Δ_{cr} – допускаемая ширина раскрытия трещин, мм, определяемая по 5.2.4.2.4.

5.2.4.2.2 Ширину раскрытия трещин a_{cr} , мм, следует определять по формуле:

$$a_{cr} = \delta \varphi_l \eta \frac{7 \cdot (4 - 100\mu) \sqrt{d} (\sigma_{sf} - \sigma_{s,bg})}{E_s}, \quad (91)$$

где δ – коэффициент, принимаемый равным для элементов:

- изгибаемых и внецентренно сжатых – 1,0;
- центрально и внецентренно растянутых – 1,2;

φ_l – коэффициент, принимаемый равным при учете временного действия нагрузок:

- 1,0 при $\frac{F_l}{F_c} < \frac{2}{3}$;
- 1,3 при $\frac{F_l}{F_c} \geq \frac{2}{3}$;

F_c и F_l – наибольшие обобщенные усилия (изгибающий момент, нормальная сила и т.п.) соответственно от действия полной нагрузки (постоянной, длительной, кратковременной) и от действия постоянной и длительной нагрузок);

при учете многократно повторяющейся нагрузки:

– при воздушно-сухом состоянии бетона $2 - \rho_s$ (ρ_s – коэффициент асимметрии цикла);

– при водонасыщенном состоянии бетона – 0,9;

H – коэффициент, принимаемый равным при стальной арматуре:

– стержневой периодического профиля – 1,0,

– гладкой стержневой – 1,4,

– проволочной периодического профиля – 1,2;

σ_{sf} – напряжение в растянутой стальной арматуре и углепластике без учета сопротивления бетона растянутой зоны сечения; с учетом фильтрационного давления воды; $\sigma_{s,bg}$

$\sigma_{s,bg}$ – начальное растягивающее напряжение в арматуре от набухания бетона. Для конструкций, находящихся в воде, $\sigma_{s,bg} = 20 \text{ МПа}$; для конструкций,

подверженных длительному высыханию, в том числе во время строительства, $\sigma_{s,bg} = 0$;

μ – коэффициент армирования сечения,

$$\mu = \frac{A_{sf}}{bh_0}, \text{ но не более } 0,02;$$

где A_{sf} – приведенная площадь армирования, вычисляемая по формуле:

$$A_{sf} = A_s + A_f \cdot \frac{R_f}{\gamma_s R_s}. \quad (92)$$

d – диаметр стержневой арматуры, мм.

При различных диаметрах стержней следует принимать:

$$d = \frac{\sum_i^k n_i d_i^2}{\sum_i^k n_i d_i}, \quad (93)$$

где n – число стержней одного диаметра.

5.2.4.2.3 Напряжения в арматуре при расчетах ширины раскрытия трещин следует определять по следующим формулам:

– для изгибаемых элементов:

$$\sigma_{sf} = \frac{M}{A_{sf} z}; \quad (94)$$

– для центрально растянутых элементов:

$$\sigma_{sf} = \frac{N}{A_{sf}}; \quad (95)$$

– для внецентренно растянутых и внецентренно сжатых элементов при больших эксцентриситетах:

$$\sigma_{sf} = \frac{N(e \pm z)}{A_{sf} z}, \quad (96)$$

где $A_{f,f}$ – площадь сечения углеродного волокна системы внешнего армирования.

В формуле (96) знак «плюс» принимается при внецентренном растяжении, «минус» – при внецентренном сжатии.

В формулах (94) и (96) z (плечо внутренней пары сил) допускается принимать по результатам расчета сечений на прочность при расчетных нагрузках.

5.2.4.2.4 Допускаемую ширину раскрытия трещин Δ_{cr} , мм, для массивных напорных конструкций следует принимать не более величин, приведенных в таблицах 8 и 9.

Т а б л и ц а 8 – Значения допустимой ширины раскрытия трещин Δ_{cr} по условию коррозионной стойкости

Гидрокарбонатная щелочность воды W, мг х экв/л	Максимальное значение В/Ц бетона при напоре Н, м			Допускаемая ширина раскрытия трещин Δ_{cr} мм, в сооружениях I класса по условию коррозионной стойкости
	10	50	200	
До 0,25 включ	0,50	0,48	0,45	Не допускается
0,4	0,55	0,50	0,45	0,05
0,4	0,48	0,45	0,42	0,10
0,8	0,63	0,48	0,52	0,05
0,8	0,59	0,55	0,50	0,10
0,8	0,56	0,52	0,48	0,15
0,8	0,54	0,50	0,46	0,20
0,8	0,52	0,49	0,45	0,25
0,8	0,50	0,47	0,44	0,35
0,8	0,48	0,45	0,43	0,50
1,6	0,70	0,69	0,64	0,05
1,6	0,70	0,66	0,62	0,10
1,6	0,68	0,64	0,60	0,15
1,6	0,66	0,62	0,58	0,20

Окончание таблицы 8

Гидрокарбонатная щелочность воды W, мг х экв/л	Максимальное значение В/Ц бетона при напоре Н, м			Допускаемая ширина раскрытия трещин Δ_{cr} мм, в сооружениях I класса по условию коррозионной стойкости
	10	50	200	
1,6	0,64	0,60	0,57	0,25
1,6	0,62	0,58	0,55	0,35
1,6	0,60	0,56	0,53	0,50
2,4	0,70	0,70	0,70	0,05
2,4	0,70	0,70	0,69	0,10
2,4	0,70	0,70	0,66	0,15
2,4	0,70	0,66	0,62	0,25
2,4	0,68	0,64	0,60	0,35
2,4	0,66	0,62	0,59	0,50
3,2 и более	Не ограничивается			

Т а б л и ц а 9 – Значения допустимой ширины раскрытия трещин Δ_{cr} по условию сохранности арматуры

Условия воздействия среды на конструкцию		Градиент напора	Допускаемая ширина раскрытия трещин Δ_{cr} мм, в сооружениях I класса по условию сохранности арматуры при суммарной концентрации ионов $[Cl^-] + 0,25 [SO_4^{2-}]$ в водной среде, мг/л			
			менее 50	100	200	400 - 1000
Постоянное водонасыщение		До 5	0,50	0,40	0,35	0,30
		50	0,45	0,35	0,30	0,25
		300	0,40	0,30	0,25	0,20
Периодические насыщения водой при числе циклов в год:	менее 100	До 5	0,30	0,25	0,20	0,15
		50	0,30	0,20	0,15	0,10
		300	0,30	0,20	0,10	0,05
	200 - 1000	-	0,25	0,20	0,15	0,10
		-	0,20	0,15	0,10	0,05
		-	0,20	0,10	0,10	0,05
	Капиллярный подсос, брызги	-	0,20	0,15	0,10	0,05

5.2.4.2.5 Для сооружений II - IV классов предельная ширина раскрытия трещин определяется умножением полученных по таблицам значений Δ_{cr} , мм, на коэффициенты, равные соответственно 1,3; 1,6; 2,0. При этом ширина раскрытия трещин принимается не более 0,5 мм.

5.2.4.2.6 Для тонкостенных конструкций при отсутствии агрессивной среды допустимая ширина раскрытия трещин принимается в соответствии с указаниями действующих нормативных документов.

5.2.4.2.7 Приведенные в таблицах 8 и 9 значения Δ_{cr} принимаются с учетом применения арматуры классов А240, А400, А500, В500. При применении арматуры других классов предельная ширина раскрытия трещин принимается не более величин, полученных по данным таблицам.

5.2.4.2.8 При бикарбонатной щелочности воды-среды, меньшей 1 мг х экв/л, или суммарной концентрации ионов Cl^- и SO_4^{2-} , большей 1000 мг/л, значения Δ_{cr} следует уменьшать в два раза.

5.2.4.2.9 При среднегодовом значении бикарбонатной щелочности воды-среды, меньшей 0,25 мг х экв/л, и при отсутствии защитных мероприятий напорные конструкции следует проектировать трещиностойкими.

5.2.4.2.10 Значения Δ_{cr} при использовании защитных мероприятий следует устанавливать на основании специальных исследований.

5.2.4.2.11 При диаметрах арматуры 40 мм и более значение Δ_{cr} допускается увеличивать на 25 %.

5.2.4.2.12 Для тонкостенных конструкций (с высотой сечения менее 1,5 м) ширину допускаемого раскрытия трещин Δ_{cr} следует умножать на коэффициент 0,5. Расчет ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, следует производить по указаниям СП 63.13330, принимая в расчетных зависимостях геометрические характеристики сечения элемента с учетом внешнего армирования полимерными композитами.

5.2.4.3 Расчет по деформациям

5.2.4.3.1 Деформации элементов, а также усилия в статически неопределимых конструкциях необходимо определять методами строительной механики с учетом трещин и неупругих свойств усиленного углеродными материалами железобетона.

При сложных статически неопределимых системах допускается определять перемещения по формулам сопротивления материалов.

5.2.4.3.2 При кратковременном действии нагрузки жесткость изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов следует определять по формулам:

– для трещиностойких элементов или их участков:

$$B_k = 0,9E_b I_{red}, \quad (97)$$

– для нетрещиностойких элементов или их участков:

$$B_k = 1.1E_b(I_b + \nu I_s + \nu I_f). \quad (98)$$

Для определения жесткости нетрещиностойких участков изгибаемых элементов прямоугольного поперечного сечения допускается использовать зависимость и номограмму, приведенные на рисунке 8.

5.2.4.3.3 При одновременном действии кратковременных и длительных нагрузок жесткость изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов следует определять по формулам:

для трещиностойких элементов или их участков:

$$B = 0,8E_b I_{red}, \quad (99)$$

для нетрещиностойких элементов или их участков:

$$B = B_k \frac{C + V}{\delta C + V}, \quad (100)$$

где C – обобщенное усилие от длительно действующих нагрузок;

V – обобщенное усилие от кратковременно действующих нагрузок;

δ – коэффициент снижения жесткости. Для тавровых сечений с полкой в сжатой зоне $\delta=1,5$, в растянутой зоне $\delta=2,5$, для прямоугольных, двутавровых, коробчатых и других замкнутых сечений $\delta=2$.

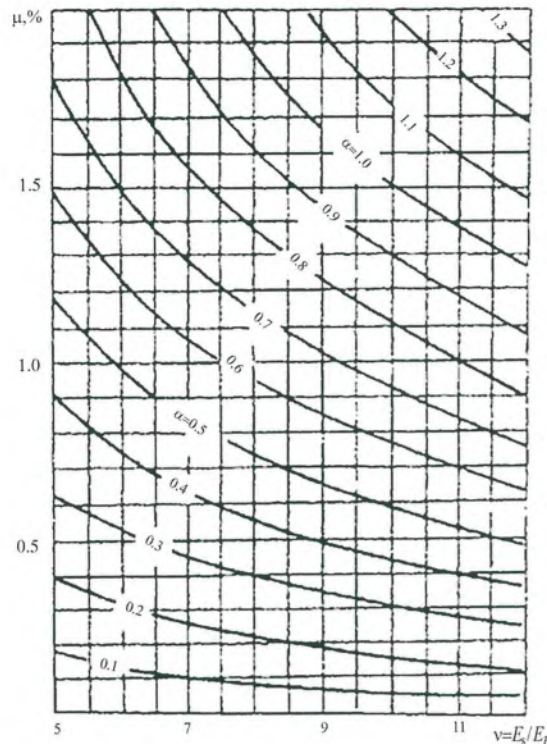


Рисунок 8 – Номограмма для определения коэффициента жесткости нетрещиностойких участков элементов прямоугольного сечения, рассчитываемых по раскрытию трещин

$$\alpha = 4,4\xi^3 + 13,2\nu\mu(1-\xi)^2, \quad (101)$$

$$B_k = aE_b I_0, \quad (102)$$

где I_0 – момент инерции сечения элемента с высотой h_0 .

5.2.5 Расчет на температурные воздействия

5.2.5.1 Расчет на тепловое воздействие усиленной железобетонной конструкции допускается не производить для сооружений III и IV категории при диапазоне изменения температуры $\pm 28^\circ\text{C}$.

5.2.5.2 Определение изменения линейных размеров композитного материала необходимо определять по формуле:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot (t - t_0), \quad (103)$$

где α – коэффициент линейного расширения, принимается для композитного материала на основе углеродных волокон от $-1 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ до 0°C^{-1} – в продольном направлении и от $22 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ до $50 \cdot 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ – в поперечном;

Δl – изменение линейного размера;

l – исходная длина элемента;

$(t - t_0)$ – рассматриваемая разница температур.

5.3 Общие принципы внешнего армирования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений композитными материалами на основе углеродных волокон

5.3.1 Железобетонная конструкция, усиленная системой внешнего армирования, должна воспринимать усилия от действия центрального сжатия, центрального растяжения, чистого изгиба, внецентрального сжатия-растяжения и поперечных сил. Кроме того, должны быть обеспечены необходимые трещиностойкость и деформативность конструкций.

5.3.2 Необходимо учитывать, что железобетонные конструкции гидротехнических сооружений, находятся, преимущественно, в условиях сложного напряженного состояния, и система внешнего армирования таких конструкций должна обеспечить совместимость деформаций основного железобетона и систем внешнего армирования в продольном, поперечном и наклонном направлениях.

5.3.3 Примеры технических решений по усилению железобетонных конструкций гидротехнических сооружений внешним армированием из композитных материалов на основе углеродных волокон, сформированные с учётом требований 5.3.1 и 5.3.2 приведены в приложении Б.

5.4 Конструктивные требования к усилению железобетонных конструкций СВА композитными материалами на основе углеродных волокон

5.4.1 Конструктивные требования к усилению железобетонных конструкций СВА композитными материалами на основе углеродных волокон принимаются с учётом требований СП 164.1325800.2014.

5.4.2 Устройство системы внешнего армирования из многослойных композитных материалов в продольном и поперечном направлениях следует производить путем последовательного послойного наклеивания элементов усиления поочередно в двух направлениях.

5.4.3 При устройстве обойм и хомутов из сеток, холстов и других тканых материалов в поперечном направлении и при их загибе через углы конструкции на углах необходимо выполнить фаски с длиной катета не менее 20 мм, либо галтель с радиусом не менее 20 мм.

5.4.4 Число слоев многослойного композитного материала системы внешнего армирования следует ограничивать в зависимости от силы сцепления композитного материала с поверхностью бетонного основания. Рекомендуемое число слоев следует принимать: для ламината – не более одного; для сеток, холстов и других тканых материалов – не более пяти.

5.4.5 Ширину элементов усиления внешнего поперечного армирования следует принимать согласно СП 164.1325800.2014 (8.10).

5.4.6 Максимальное расстояние в свету между элементами усиления внешнего продольного армирования изгибаемого элемента $S_{f\max}$ следует принимать не более меньшего значения из: $0,2L$; $5h$, где L – пролет изгибаемого элемента или удвоенный вылет консоли, h – высота сечения изгибаемого элемента.

5.4.7 Расстояние от края элемента усиления внешнего продольного армирования до боковой грани изгибаемого элемента следует принимать равным значению защитного слоя стальной арматуры усиливаемого элемента, но не более 20 мм.

5.4.8 При усилении растянутой зоны изгибаемого элемента первый слой элемента усиления в продольном направлении следует заводить в сжатую зону (неразрезные элементы) или в зону, где действующие усилия не приводят к образованию трещин (свободно опертые элементы), а каждый последующий слой следует обрезать не ближе 150 мм обреза предыдущего слоя (см. рис. 12 СП 164.1325800.2014).

Элементы усиления должны быть заведены за нормальное к продольной оси усиливаемого элемента сечение, в котором их учитывают с расчетным сопротивлением – в соответствии с СП 164.1325800.2014 (8.13).

5.4.9 При усилении нормальных сечений из расчета по изгибающим моментам зоны, где действующая расчетная поперечная сила превышает $2/3Q_b$, концы элементов усиления в продольном направлении для предотвращения отслоения следует анкетировать приклеиванием трехсторонних хомутов или сплошным обертыванием в поперечном направлении.

5.4.10 Длину нахлестки при сращивании элементов усиления по длине в продольном направлении или при устройстве обойм следует принимать по указаниям предприятия-изготовителя или определять испытаниями. При этом при устройстве обойм длину нахлестки рекомендуется принимать не менее, чем 150 мм.

Нахлестки следует располагать «в разбежку» и кроме того для элементов усиления в продольном направлении – в зонах с наименьшими усилиями в композитном материале.

5.4.11 Поперечные хомуты следует наклеивать поверх продольного элемента усиления. Вертикальные поперечные хомуты следует выполнять из цельного отрезка элемента усиления (см. рис. 13 СП 164.1325800.2014), наклонные поперечные хомуты – из двух отрезков, стыкуемых на нижней поверхности балки (ребра балки) (см. рис. 14 СП 164.1325800.2014).

5.4.12 При усилении нормальных сечений изгибаемых балочных конструкций и ребристых плит сетки, холсты и другие тканые материалы для улучшения их анкеровки и предотвращения отслаивания защитного слоя бетона рекомендуется загибать на боковые поверхности балки на 100 мм.

5.4.13 При усилении плит, изгибаемых в двух направлениях, вначале следует приклеивать элементы усиления вдоль длинной стороны плиты. Элементы усиления следует принимать из однонаправленных ламинатов, сеток, холстов и других тканых материалов.

5.4.14 При усилении конструкций, эксплуатируемых в условиях постоянной влажности (внутри помещения), допускается наклеивание ламинатов, сеток, холстов и других тканых материалов по всей поверхности основания.

5.5 Рекомендации по эксплуатационному контролю состояния железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных системой внешнего армирования

5.5.1 Контроль состояния железобетонных конструкций гидросооружений, усиленных СВА производится в соответствии с требованиями ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений», а также требованиями соответствующих национальных стандартов (ГОСТ Р), сводов правил (СП) и стандартов организации ПАО «РусГидро».

5.5.2 Эксплуатационный контроль состояния железобетонных конструкций, усиленных СВА включает:

- визуальные обследования;
- инструментальный контроль с помощью стационарной и переносной КИА;
- поверочные расчеты несущей способности, деформативности и трещиностойкости конструктивных элементов.

5.5.3 В ходе визуальных наблюдений фиксируются:

- наличие и геометрия нарушений формы конструкции (сколы бетона, вздутие элементов усиления и др.);
- наличие, траектории и ширина раскрытия трещин в бетоне;
- отрывы, отслоение элементов усиления;
- изменение в расчетной схеме конструктивных элементов (неравномерные осадки, крены);
- фильтрация воды через конструктивный элемент.

5.5.4 Периодичность визуального обследования определяется в соответствии с действующими нормативными документами. Внеочередной визуальный контроль производится в следующих случаях:

- при повышении наружной температуры конструктивного элемента свыше 80% от температуры стеклования адгезива СВА;
- при снижении температуры окружающей среды более чем на 40°C от температуры, при которой выполнялось усиление;
- при аварийных ситуациях.

5.5.5 При инструментальном контроле состояния конструктивного элемента должны быть зафиксированы следующие параметры:

- перемещения и осадки характерных точек конструктивных элементов;
- деформации (напряжения) в сжатой зоне бетона;

- деформации (напряжения) в стальной арматуре (продольной, поперечной, кривой);
- деформации (напряжения) в СВА;
- величины раскрытия трещин и блочных швов, взаимных смещений элементов конструкции;
- температура поверхностей бетона и СВА.

5.5.6 Для наблюдений за параметрами НДС железобетонных конструкций, усиленных посредством СВА, в качестве контрольно-измерительной аппаратуры рекомендуется использовать дистанционные струнные измерительные датчики, оптоволоконные и тензодатчики, и геодезическую КИА, позволяющие осуществлять сбор данных и передачу на диспетчерские пункты в автономном режиме.

5.5.7 Деформации бетона, стальных конструкций, в том числе стальных оболочек, измеряют деформометрами (ПЛДС); температуру внешнего армирования и поверхности бетона – термометрами (ПТС); раскрытие швов и трещин – щелемерами, датчиками перемещений (ПЛПС); плановые взаимные смещения элементов сооружения, в том числе в зонах деформационных швов – трехмарочными щелемерами и датчиками перемещений (ПЛПС); усилия (напряжения) в арматуре – арматурными динамометрами (ПСАС); относительные вертикальные смещения (осадки) элементов сооружения – гидронивелирами (ПУЖС) и геодезическими марками; относительные горизонтальные смещения – отвесами.

Деформации (напряжения) в СВА измеряются одиночными и группой тензометров в виде плоских и «розеток».

5.5.8 Рекомендуются следующие схемы установки датчиков:

а) изгибаемые элементы (при усилении нормальных сечений):

- 1) установка КИА на поверхности бетона сжатой зоны (в зависимости от возможного места установки выполняется корректировка предельных параметров нормальной эксплуатации конструкции);
- 2) установка КИА на существующей растянутой арматуре (в том числе после определения в ней напряжений методом «разгрузки арматуры»);
- 3) установка КИА на внешнем армировании (при количестве слоев внешнего армирования более одного, необходима установка между слоями).

б) изгибаемые элементы (при усилении наклонных сечений):

- 1) установка КИА на поверхности конструкции в зоне возможного образования наклонной трещины;
 - 2) установка КИА на существующей растянутой поперечной арматуре (в том числе после определения в ней напряжений методом «разгрузки арматуры»);
 - 3) установка КИА на внешнем армировании (при количестве слоев внешнего армирования более одного, необходима установка между слоями).
- в) сжато-изгибаемые элементы (колонны, контрфорсы):
- 1) установка КИА на поверхности бетона сжатой зоны (для контроля продольных и поперечных деформаций);
 - 2) установка КИА на внешнем армировании для определения деформаций вдоль волокон (при количестве слоев внешнего армирования более одного, необходима установка между слоями).
- г) сжато-изгибаемые элементы (стены каналов, подпорные стенки):
- 1) установка КИА на поверхности бетона сжатой зоны (для контроля продольных и поперечных деформаций);
 - 2) установка КИА на существующей растянутой арматуре (в том числе после определения в ней напряжений методом «разгрузки арматуры»);
 - 3) установка КИА на внешнем армировании для определения деформаций вдоль волокон рабочего направления (при количестве слоев внешнего армирования более одного, необходима установка между слоями);
 - 4) рекомендуется установка систем удаленного дистанционного геодезического контроля деформаций.
- д) водоводы:
- 1) установка КИА на поверхности бетона усиливаемой зоны (по периметру расчетного сечения);
 - 2) установка КИА на существующей растянутой арматуре (в том числе после определения в ней напряжений методом «разгрузки арматуры»);
 - 3) установка КИА на внешнем армировании для определения деформаций вдоль волокон, рабочего направления (при количестве слоев внешнего армирования более одного, необходима установка между слоями);

- 4) рекомендуется установка систем удаленного дистанционного геодезического контроля деформаций.

5.5.9 Проект размещения КИА на конструкциях, усиленных СВА, включающий установку КИА, коммутацию приборов и их сопряжение с общей информационно-диагностической системой сооружения, а также Программа натурных наблюдений входят в состав Проекта усиления железобетонной конструкции гидросооружений системой внешнего армирования.

5.5.10 Поверочные расчеты несущей способности, деформативности и трещиностойкости конструкций, усиленных СВА, следует выполнять по данным натурных наблюдений и обследований (см. 5.2).

5.5.11 На основании проведенных поверочных расчетов производится корректировка значений критериев безопасности сооружения и дается заключение о возможности дальнейшей его эксплуатации.

6 Технологический регламент усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования из композитных материалов на основе углеродных волокон

6.1 Основные положения

6.1.1 Работа по усилению железобетонных конструкций методом внешнего армирования композитными материалами включает в себя следующие этапы:

- восстановление целостности и геометрической формы усиливаемой конструкции (включая, при необходимости, антикоррозионные мероприятия);
- подготовка поверхности конструкции в местах устройства усиливающих элементов внешнего армирования;
- разметка размещения элементов внешнего армирования в соответствии с принятой проектом схемой наклейки;
- раскрой ленты (ткани, холста, ламината, сетки);
- приготовление связующего (адгезива);
- наклейка усиливающих элементов;
- нанесение защитного покрытия.

6.1.2 В качестве основных материалов для внешнего армирования (СВА) применяют ленты, ткани, сетки, ламинаты из углеродных волокон и связующее (адгезив) на эпоксидной основе.

Тип армирующей ленты, ткани, сетки, ламината и связующего (адгезива) устанавливается проектом.

Работы должны выполняться в соответствии с проектом. Отступления от него допустимы при согласовании представителями авторского надзора, о чем делается запись в журнале авторского надзора. Все изменения должны быть отражены в Исполнительной документации.

При возникновении противоречий проекта и настоящего СТО, следует руководствоваться положениями первого.

Приготовление и использование материалов следует вести в соответствии с инструкциями производителя.

Устройство СВА допускается осуществлять в диапазоне температур окружающего воздуха и конструкций от +5 °С до +35 °С и влажности воздуха не более 80 %. Температура конструкции должна быть выше температуры точки росы минимум на 3 °С. Влажность конструкции в зоне усиления не должна превышать 4 %.

При необходимости устройства СВА железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в условиях повышенной температуры (до 110 °С) следует применять соответствующее эпоксидное двухкомпонентное связующее типа FibArm Resin HT+ согласно [7].

Не допускается попадание осадков на участки наклейки элементов усиления в момент их устройства и последующие трое суток после завершения работ.

6.2 Требования к поверхности усиливаемой конструкции

6.2.1 Поверхность усиливаемой конструкции не должна иметь не отремонтированных дефектов и повреждений: сколов, раковин, каверн глубже 5 мм, площадью более 25 мм², трещин, участков непрочного, «бухтящего» бетона, признаков коррозии и пр.

6.2.2 Неплоскостность усиливаемой поверхности должна находиться в пределах 5 мм на базе 2 м или 1 мм на базе 0,3 м.

6.2.3 Поверхность усиливаемой конструкции должна быть чистой, без остатков отделки, грязи, жирных пятен, цементной пленки, пыли.

6.2.4 Поверхность конструкции, на которые наносятся элементы усиления, должна быть шероховатой (до 0,3 мм) для обеспечения надежного сцепления связующего с поверхностью конструкции.

6.2.5 При устройстве замкнутых бандажей, хомутов внешнего армирования, усиливаемая конструкция в местах наклейки ленты не должна иметь острых углов (они срезаются, образуя фаски).

6.2.6 Прочность бетона усиливаемой конструкции на сжатие должна быть:

- для изгибаемых и растянутых элементов, а также элементов, подвергающихся кручению, ударным и сейсмическим нагрузкам – не менее 10 МПа;
- для сжатых элементов с малым эксцентриситетом – не менее 7,5 МПа;
- для внецентренно сжатых элементов – устанавливается

проектировщиком системы внешнего усиления.

Фактическая прочность бетона конструкции должна быть подтверждена документально; при отсутствии данных о прочности бетона усиливаемых конструкций их необходимо получить с помощью неразрушающих методов в соответствии с СП 13-102-2003.

6.3 Восстановление целостности и геометрической формы усиливаемых конструкций

6.3.1 Удаление дефектных участков конструкции

6.3.1.1 Участки непрочного, кавернозного, бухтящего бетона расчищаются механическим способом до прочного основания; при этом следует исключить возможность повреждения «здоровых» участков бетона ремонтируемой конструкции.

6.3.1.2 Слабо держащиеся частицы бетона, высолы, грязь, ржавые пятна, пластовая коррозия обнаженных участков арматуры и закладных деталей (при наличии) удаляются металлическими щетками. При очистке стальных элементов не выполняется зачистка металла до блеска.

6.3.1.3 Поверхность бетона в зоне дефектов обеспыливается продувкой сжатым воздухом под давлением 6-8 атм.

6.3.1.4 Для предотвращения нарушения несущей способности конструкции при удалении участков дефектного бетона площадью более 0,1 м работы выполнять захватками.

6.3.1.5 Размеры захваток согласовывать с авторским надзором.

6.3.1.6 Расчистку на последующей захватке следует начинать не ранее чем через 4 часа после окончания ремонта на предыдущей.

6.3.1.7 Восстановление поврежденного бетона выполнять в соответствии с 6.3.3 при небольших участках дефектного бетона менее 1,0 м², либо в соответствии с 6.3.5 при необходимости замены бетона на участке более 1,0 м².

6.3.2 Антикоррозионные мероприятия

6.3.2.1 На прокорродировавшую поверхность обнаженной арматуры и закладных деталей с помощью кисти наносят грунт-преобразователь ржавчины.

6.3.2.2 На поверхность бетона в зоне обнаженной арматуры и закладных деталей, обработанных грунтом-преобразователем ржавчины, а также на участках, где имеются следы протечек, высолов, ржавых пятен и прочих признаков снижения защитных свойств бетона по отношению к арматуре, следует нанести мигрирующий ингибитор коррозии.

6.3.3 Восстановление поврежденного бетона. Ремонт каверн

6.3.3.1 Разделка границ ремонтируемых дефектов (см. приложение В, пункты В.1 и В.2) должна выполняться методом «ласточкиного хвоста». Для этого по их контуру следует выполнять пропилы на глубину 20-30 мм с помощью углошлифовальной машинки с насадкой-диском по бетону под углом 100° – 105° к поверхности. При выполнении пропилов не допускается повреждение арматуры конструкций (при появлении искр или других признаков повреждения арматуры немедленно прекратить резку).

6.3.3.2 Поверхность контакта бетона с ремонтным материалом непосредственно перед его нанесением обрабатывают материалом (праймером) на цементной основе обеспечивающим сцепление двух поверхностей и их совместную работу с адгезией не менее 2,0 МПа. В качестве праймера может быть использован ЦМИД 1К или аналог.

6.3.3.3 После грунтовки поверхности ремонтируемой зоны (не позднее одного часа) восстанавливают геометрию конструкции ремонтным составом на основе высокомарочного цемента, микронаполнителя, фракционированного песка и функциональных добавок.

Т а б л и ц а 10 – Требования к ремонтному материалу

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Прочность при сжатии 1 сут., 28 сут.,	МПа	До 20,0 До 53,5
Марка по водонепроницаемости	-	W 18
Марка по морозостойкости, не менее	-	F 600
Адгезия к бетонной поверхности, не менее	МПа	1,0
Прочность на растяжение при изгибе, (для изгибаемых элементов)	МПа	3,5
Усадка, после 28 суток твердения	-	Безусадочный

6.3.3.4 Для восстановления поврежденного бетона на площади до 1,0 м² может быть использован материал ЦМИД-3 или аналог. В зависимости от условий работы необходимо применять различные модификации ремонтных материалов (быстротвердеющие, противоморозные, оказывающее повышенное сопротивление к изгибающим нагрузкам). Наносить состав можно при помощи мастерка, кельмы, шпателя или автоматизированной штукатурной станции с последующим уплотнением и заглаживанием. Максимальная толщина слоя за 1 проход не более 20,0 мм. Дополнительные слои могут выполняться после того как предыдущий слой полностью высохнет.

6.3.3.5 Смесь перемешивается в течение 2-3 минут. Состав оставляется на 3-5 минут, для растворения добавок, и снова перемешивается 2-3 минуты. Консистенция раствора регулируется во время повторного перемешивания содержанием воды в указанных производителем пределах. Перемешивание можно производить вручную, электромиксером (600 об/мин) или в растворосмесителе принудительного или гравитационного действия. Готовый раствор имеет консистенцию, сравнимую со штукатурным. Время использования приготовленного раствора 45 минут. Повысить подвижность

смеси можно дополнительным перемешиванием, разбавление дополнительным количеством воды запрещается.

6.3.3.6 При ветреной или жаркой погоде, интенсивной инсоляции в период твердения и набора прочности ремонтного состава необходимо принять меры по предотвращению испарения влаги с отремонтированной поверхности (например, накрыть полиэтиленовой пленкой после начала твердения на период не менее суток после завершения укладки ремонтного состава).

6.3.4 Ремонт трещин

6.3.4.1 Трещины с раскрытием более 0,3 мм должны быть заинъектированы низковязкими эпоксидными составами, трещины с меньшим раскрытием после зачистки должны быть покрыты паропроницаемым пропиточным составом на основе водной эмульсии эпоксидной смолы (см. приложение В, пункт В.3).

Т а б л и ц а 11 – Технические характеристики материала для покрытия трещин до 0,3 мм

Наименование показателя	Единица измерения	Значение	Примечание
Адгезия к бетону	кгс/см ²	20	при 20 °С через 7 суток
Водопоглощение за 24 часа	%	менее 0,1	-

В качестве паропроницаемого покрытия может быть использован материал ЦМИД СМ-2 или аналог.

Т а б л и ц а 12 – Технические характеристики материала для инъектирования трещин более 0,3 мм

Параметр	Единицы измерения	Значение	Нормативный документ	Условие
Прочность на осевое сжатие	кгс/см ²	600	ГОСТ 4651	при 20 °С через 7 суток
Прочность на осевое растяжение	кгс/см ²	300	ГОСТ 11262	
Прочность на продольный сдвиг	кгс/см ²	500	ГОСТ 14759	
Прочность на изгиб	кгс/см ²	300	ГОСТ 4648	
Водопоглощение за 24 часа, менее	%	0,1	ГОСТ 4650	
Адгезия к бетону	кгс/см ²	25	-	разрушение по бетону

В качестве материала для инъектирования может быть ЦМИД СМ-4 (высокопрочный, быстротвердеющий, низковязкий эпоксидный состав с высокой адгезией к бетону) или аналог.

Инъектирование трещин выполняют с помощью специального насоса высокого давления и пакеров, устанавливаемых в шахматном порядке с определенным шагом.

6.3.4.2 Подготовительные работы.

6.3.4.2.1 С помощью отрезной машины и перфоратора трещина по всей длине разделяется, путем устройства штрабы с обратным уклоном «ласточкин хвост» и надреза глубиной 20-40 мм.

6.3.4.2.2 Вдоль трещины в шахматном порядке под углом приблизительно 30° к плоскости трещины выбуриваются шпуров. Шаг бурения шпуров 250 мм, длина шпуров 250-300 мм, расстояние от трещины до устья шпура ~ 100 мм.

6.3.4.2.3 Далее производится гидроструйная очистка и продувка сжатым воздухом отверстий и полости штрабы.

6.3.4.2.4 В скважины вставляют инъекционные пакеры с кеглевидным ниппелем высокого давления на глубину 50 мм.

6.3.4.3 Приготовление состава для инъекции.

6.3.4.3.1 Приготовление инъекционного ремонтного состава на основе низковязкой эпоксидной смолы.

6.3.4.3.2 Смола состоит из двух компонентов: компонента А (основы) и компонента В (отвердителя).

6.3.4.3.3 Смешение компонентов производится в невпитывающей (металлическая, пластиковая и т.п.) емкости в соотношении, установленном производителем. Сначала в емкость выливается компонент А, затем в него добавляется компонент В при постоянном равномерном смешении.

6.3.4.3.4 Перемешивание с помощью миксера с низкой скоростью вращения (60-80 об /мин) в течение 2-3 минут.

6.3.4.3.5 Время жизни и вязкость состава зависят от температуры окружающего воздуха и определяются в соответствии с нормативами, установленными производителем.

6.3.4.4 Заделка трещин

6.3.4.4.1 Бетон штрабы должен быть насыщен водой. На поверхность штрабы наносится подготовительный (праймерный) адгезионный слой. Не позднее 10-15 минут после обработки адгезионной суспензией штраба заполняется ремонтным раствором с уплотнением (кельмой, мастерком или шпателем).

6.3.4.4.2 Выполняются работы по уходу за уложенным ремонтным материалом.

6.3.4.4.3 Инъекционные работы следует проводить после набора 70% прочности раствора омоноличивания трещины. С помощью инъекционного оборудования, обеспечивающего давление подачи смеси от 5 до 10 атм.

6.3.4.4.4 Перед началом работы все краны на пакерах необходимо открыть.

6.3.4.4.5 Перед началом инъектирования производится пробное нагнетание воды в скважины. При этом фиксируется сообщение между скважинами, расход подаваемой воды, возможные выходы воды на поверхность конструкции.

6.3.4.4.6 Инъектирование трещин следует начинать с самого нижнего (крайнего) пакера, постепенно переходя к соседним пакерам. Контроль за качеством заполнения в процессе инъектирования осуществляется через пакеры расположенные в непосредственной близости от пакера в который подаётся инъекционный раствор.

6.3.4.4.7 Нагнетание скважин производится до полного отказа в поглощении раствора. Опрессовка скважины (выдерживание при давлении 6 атм.) после отказа производится в течение 3 минут.

6.3.4.4.8 Признаком того, что следует начинать подачу раствора в пакер, расположенный выше, является:

- раствор не «идет» в пакер (инъектирование произведено «до отказа»);
- инъекционный раствор начал вытекать из пакера(-ов) расположенных выше (рядом с пакером в который подаётся раствор);
- расход инъекционного раствора необоснованно велик, в этом случае инъекционный раствор, вероятно, вытекает за пределы ремонтируемой конструкции.

6.3.4.4.9 Глубина проникновения нагнетаемого раствора зависит от величины раскрытия трещины, шва. Порядок инъектирования определяется и корректируется в процессе производства работ.

6.3.4.4.10 После окончания нагнетания раствора пакер необходимо заглушить с помощью запорного механизма для предотвращения выхода инъекционного раствора.

6.3.4.4.11 После затвердевания раствора инъекционные пакеры вынимаются и скважины тампонируются ремонтным раствором.

6.3.5 Замена разрушенного бетона площадью более 1м². Восстановление геометрии конструкции

6.3.5.1 Для замены бетона на локальных участках используют либо бетонную смесь, приготовленную на бетонном заводе по карте бетонирования конструктива, либо сухую бетонную смесь (СБС) приготовленную на месте производства работ.

Свойства СБС и ремонтного бетона зависят от условий эксплуатации конструкции (конструкция снаружи помещения, внутри, в зоне переменного уровня воды ГТС и т.д.).

Характеристики СБС и ремонтного бетона должны быть не ниже предусмотренных проектом.

Т а б л и ц а 13 – Свойства бетонной смеси рекомендованной для производства работ по замене разрушенного бетона

В/Т	0,07 (0,08)
Подвижность	П4 (ОК: 18-20 см)
Распływ конуса	30 см
Воздухосодержание	5-7 %
Максимальная фракция крупного заполнителя	10 мм

Т а б л и ц а 14 – Технические характеристики бетона рекомендованного для производства работ по замене разрушенного бетона

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Объемный вес бетона,	кг/м ³	2400
Допустимая толщина заливки	-	Без ограничений
Прочность при сжатии 28 сут.	МПа	не менее 40,0 (55,0)
Марка по водонепроницаемости	-	W 12
Марка по морозостойкости	-	не менее F 400
Адгезия к бетонной поверхности	МПа	не менее 1,5
Усадка, после 28 суток твердения	-	Без усадки

Для производства бетонных работ рекомендуется использовать СБС ЦМИД-В30 (В40) или аналог. Бетонная смесь для восстановления геометрии должна быть на класс выше, чем основной бетон массива конструкции.

6.3.5.2 Подготовка поверхности.

6.3.5.2.1 С поверхности основания, подлежащей ремонту, тщательно удаляются разрушенные части до «здоровой» поверхности.

6.3.5.2.2 Очистка поверхности производится либо отбойным молотком с последующим удалением пыли, либо гидроструйным аппаратом высокого давления.

6.3.5.3 Приготовление СБС.

6.3.5.3.1 Литая мелкозернистая бетонная смесь для ремонта обширных разрушений бетона, состоящая из двух компонентов:

- Компонент 1: портландцемент, микрозаполнители, мелкий заполнитель и функциональные добавки; и

- Компонент 2: крупный заполнитель фр. 5-10 мм.

6.3.5.3.2 Последовательность загрузки бетономешалки:

- компонент 2;
- пуск бетономешалки;
- добавление компонента 1;
- затворение водой.

6.3.5.3.3 Состав перемешивается 5-7 мин. Перемешивание можно производить миксером (мощностью 1200 Вт) или в бетономесителе принудительного или гравитационного действия. Время использования приготовленной бетонной смеси 45 минут. Повысить подвижность бетонной смеси можно дополнительным перемешиванием, разбавление дополнительным количеством воды запрещается.

6.3.5.4 Укладка бетонной смеси.

6.3.5.4.1 Укладку бетонной смеси рекомендуется производить в сухую погоду при температуре воздуха от +7°C до +22°C.

6.3.5.4.2 Перед укладкой бетонной смеси предварительно устанавливается опалубка вокруг ремонтируемого участка.

6.3.5.4.3 Подвижность бетонной смеси позволяет проводить укладку без виброуплотнения.

6.3.5.4.4 Уплотнение бетонной смеси и распределение в опалубке производится постукиванием по ней.

6.3.5.4.5 Распалубку отремонтированного участка производить не ранее 2 суток.

6.3.5.5 Уход.

Первые сутки твердения открытые поверхности необходимо укрыть полиэтиленом для поддержания тепло-влажностного режима твердения.

6.4 Подготовка поверхности конструкции к устройству внешнего армирования

6.4.1 На поверхность усиливаемой конструкции мелом (маркерами или пр.) в соответствии с проектной схемой наносят линии разметки зон, подготавливаемых под наклейку лент. При этом используют рулетки, тонкую веревку и пр.

6.4.2 Ширину зон, подготавливаемых под наклейку лент, следует принимать в 1,2 раза больше ширины применяемой ленты (при этом запас составит 1 - 3 см с каждого края ленты).

6.4.3 Основание зачистить от цементной пленки, остатков отделки, масляных пятен и пр., и выровнять в соответствии с установленными требованиями углошлифовальными машинками с насадками «чашками» с алмазным напылением.

6.4.4 В случаях, когда выравнивание шлифовкой невозможно ввиду ограниченного доступа к конструкции или связано с большими трудозатратами, выравнивание допускается выполнять ремонтными материалами в соответствии с 6.3.3.

6.4.5 На наружных углах конструкции (например, углы колонн) в местах наклейки ленты следует выполнить фаски катетом 10 - 25 мм, либо скругление радиусом 50 - 100 мм. (Рис. 9)

6.4.6 Во внутренних углах конструкции в местах наклейки ленты необходимо устроить из ремонтного материала галтель радиусом ~ 50 мм, катетом 40 мм. (Рис. 9).

6.4.7 Тщательно продуть основание сжатым воздухом под давлением 6-8 атм. Пистолет компрессора держать на расстоянии 50 - 70 мм от основания. Рекомендуется выполнять обеспыливание за 2 - 3 раза. Перерывы в процессе обеспыливания связаны с необходимостью дать пыли осесть.

6.4.8 Повторно выполнить разметку зон наклейки ленты аналогично 6.2.

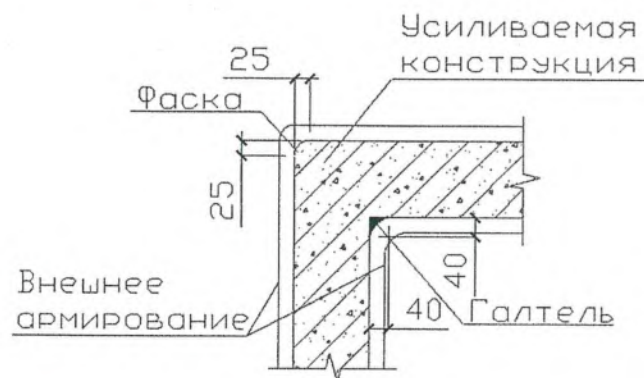


Рисунок 9 – Подготовка основания в угловых зонах

6.5 Устройство элементов внешнего армирования

6.5.1 Устройство внешнего армирования на основе углеродной ленты (ткани)

6.5.1.1 Последовательность операций по наклейке ленты (ткани) включает в себя выполнение следующих основных видов работ:

- раскрой ленты (ткани);
- приготовление связующего (адгезива);
- нанесение на подготовленное основание слоя связующего (адгезива);
- укладку подготовленной ленты;
- пропитку и прикатку ленты (ткани) к основанию;
- нанесение на поверхность ленты финишного слоя связующего;
- нанесение защитного покрытия.

6.5.1.2 Раскрой ленты выполняют в соответствии со спецификацией в проекте.

6.5.1.3 Раскрой следует осуществлять на ровной, плоской, чистой поверхности. Резать ленту (ткань) следует с помощью ножа для картона, ножниц. При необходимости резки ленты (ткани) в продольном направлении на нее с двух сторон наклеить малярный скотч, и резку осуществлять по нему (см. рис. 10). Непосредственно после наклейки ленты, ее часть, находящаяся под скотчем, удаляется вместе с ним с помощью ножа.

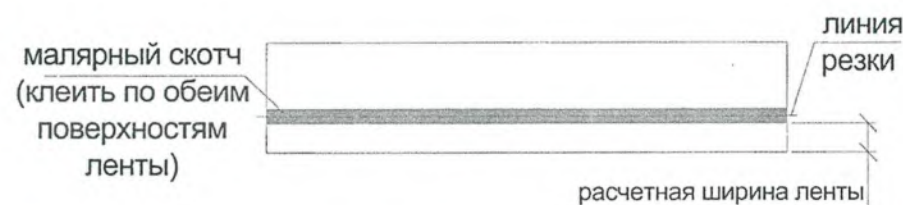


Рисунок 10 – Схема раскроя ленты при необходимости разделения вдоль волокон

6.5.1.4 Приготовление связующего производится в соответствии с инструкциями производителя.

6.5.1.5 Связующее (адгезив) наносится с помощью шпателя или кисти на

поверхность усиливаемой конструкции (основание) до приобретения характерного «мокрого» вида.

6.5.1.6 После операции согласно 6.5.1.5 связующее распределяется ровным слоем. На основание должно быть нанесено связующее в количестве, достаточном, чтобы пропитать ленту. Если связующего для этого не достаточно для полной и равномерной пропитки ленты, то его добавляют; излишки связующего (капли, потеки) – удаляют. Расход связующего на данную операцию определяется производителем.

6.5.1.7 Ленту (ткань) необходимо укладывать на слой нанесенного связующего путем их прижатия и разглаживания вдоль волокон элемента от центра к краям. В процессе укладки необходимо следить, чтобы кромка усиливающего элемента была параллельна линии разметки, нанесенной на основание, или кромке предыдущего элемента.

6.5.1.8 Ленты (ткани) должны укладываться с натяжением. Образование складок и перекосов волокон не допускается.

6.5.1.9 «Прикатка» ленты (ткани) сухими шпателями или жесткими резиновыми валиками от центра к краям строго в продольном направлении. «Прикатка» выполняется до плотного прижатия ленты (ткани) к основанию, пока сквозь ленту (ткань) не выступит связующее. Волокна ленты (ткани) должны быть смоченными связующим. Лента (ткань) не должна скользить по поверхности конструкции (это является признаком того, что под углеродным наполнителем имеются излишки связующего, либо оно имеет слишком низкую вязкость).

6.5.1.10 Поверх «прикатанной» ленты (ткани) наносят дополнительный слой связующего для пропитки ее с внешней стороны и вновь осуществляется прикатка. Расход связующего на данную операцию определяется производителем.

6.5.1.11 Продолжительность операций, указанных в 6.5.1.5 - 6.5.1.10, не должна превышать времени жизнеспособности используемого связующего.

6.5.1.12 Устройство внешнего армирования на основе углеродной ленты (ткани) в несколько слоев выполняют аналогично 6.5.1.1 - 6.5.1.11.

6.5.1.13 При требуемом количестве слоев больше двух, устройство лент (тканей) следует выполнять в несколько этапов. На первом этапе в течение времени жизнеспособности связующего наклеиваются первые два слоя ленты. На следующих этапах, после твердения связующего предыдущих слоев, наклеиваются последующие слои (на каждом этапе не более двух слоев).

6.5.1.14 Ленты (ткани) каждого последующего слоя должны быть короче предыдущих на ~0,5-1 см, что даёт возможность контроля за количеством уложенных слоёв армирующего материала.

6.5.1.15 При устройстве внешнего армирования в нескольких направлениях, последовательность наклейки ленты (ткани) в каждом из направлений регламентируется проектом.

6.5.1.16 Допускается выполнение усиливающих элементов, составленных из нескольких лент по длине, при условии соблюдения требуемой длины перехлеста, которая должна быть указана в проекте. Стыковка осуществляется вдоль ленты по направлению волокон. Ось перехлеста не должна находиться в одном сечении. Стыковка многослойной СВА осуществляется в разбежку по длине (в разных сечениях).

6.5.1.17 После окончания наклейки углеродной ленты (ткани) до окончательного отверждения связующего следует периодически осматривать состояние выполненного усиления, не допуская провисания углеродного наполнителя, образования пузырей. Найденные дефекты немедленно устраняют с помощью шпателей.

6.5.1.18 В случае, если проектом определено нанесение защитного покрытия из полимерцементного состава, то после отверждения связующего на поверхность наносят финишный слой связующего, который «чипсуется» сухим мелким песком для обеспечения его сцепления с внешним армированием.

6.5.2 Устройство внешнего армирования на основе углепластиковых ламелей (ламинатов)

6.5.2.1 Последовательность операций по наклейке углепластиковых ламелей (ламинатов) включает в себя выполнение следующих основных видов работ:

- раскрой углепластиковой ламели (ламината);
- приготовление связующего (адгезива);
- нанесение на подготовленное основание слоя связующего (адгезива);
- обезжиривание поверхности ламели и нанесение на нее слоя адгезива;
- укладка подготовленной ламели;
- прикатка ламели к основанию;
- удаление излишков адгезива;

- нанесение защитного покрытия.

6.5.2.2 Раскрой ламели выполняют в соответствии со спецификацией в проекте, на ровной, плоской, чистой поверхности специальным отрезным инструментом.

6.5.2.3 Приготовление связующего производится в соответствии с инструкциями производителя.

6.5.2.4 Шпателем на подготовленную поверхность бетона (основание) нанести слой адгезива толщиной 1,0-2,0 мм. Аналогичный слой (1,0-2,0 мм) нанести на предварительно протертую ацетоном поверхность ламели.

6.5.2.5 Слой адгезива на основании должен быть на 10 мм шире, чем ширина ламината (с напуском по 5 мм с каждой стороны ламели). При этом рекомендуется выполнять откосы к краям под углом 45°.

6.5.2.6 Ламель необходимо укладывать на слой нанесенного связующего (адгезива) путем их прижатия и прикатки. В процессе укладки необходимо следить, чтобы кромка усиливающего элемента была параллельна линии разметки, нанесенной на основание или кромке предыдущего элемента.

6.5.2.7 Образование перекосов и отклонений ламели не допускается.

6.5.2.8 «Прикатка» ламели осуществляется сухими шпателями или жесткими резиновыми валиками вдоль ламели от центра к краям. «Прикатка» выполняется до плотного прижатия ламели к основанию, пока из-под ламели не выступят излишки адгезива (связующего). Ламель не должна скользить по поверхности конструкции (это является признаком того, что под ламелью имеются излишки адгезива, либо оно имеет слишком низкую вязкость).

6.5.2.9 Продолжительность операций, указанных в 6.5.2.4 - 6.5.2.8 не должна превышать времени жизнеспособности используемого адгезива.

6.5.2.10 Наклейка внешнего армирования необходимого количества слоев производится исключительно при изготовлении элемента СВА, состоящего из нескольких слоев ламелей, склеиваемых в многослойный пакет до начала монтажа.

6.5.2.11 При требуемом количестве слоев больше двух, устройство пакетов следует выполнять в несколько этапов. На первом этапе в течение времени жизнеспособности связующего наклеиваются первые два слоя ламели. На следующих этапах, после твердения адгезива предыдущих слоев, наклеиваются последующие слои (на каждом этапе не более двух слоев).

6.5.2.12 Ламели каждого последующего слоя должны быть короче предыдущих на ~0,5 - 1 см, что даёт возможность контроля за количеством

уложенных слоёв армирующего материала.

6.5.2.13 При устройстве внешнего армирования на основе ламелей в нескольких направлениях, последовательность наклейки ламели в каждом из направлений регламентируется проектом.

6.5.2.14 При устройстве усиления системой внешнего армирования строительных конструкций, состоящей из нескольких слоев, ориентированных в двух направлениях (типа «сетка»), технологическая операция монтажа усиливающих элементов должна включать в себя выполнение следующих видов работ:

- нанесение слоя адгезива на подготовленное основание и на элемент усиления в первом направлении;

- укладку подготовленных усиливающих элементов в первом направлении;

- прикатку усиливающих элементов к основанию;

- удаление излишек адгезива;

- выравнивание основания для укладки ламелей во втором направлении;

- нанесение слоя адгезива на подготовленное основание и на элемент усиления во втором направлении;

- укладку подготовленных усиливающих элементов во втором направлении;

- прикатку усиливающих элементов к основанию;

- удаление излишек адгезива.

6.5.2.15 Стыковка ламелей по длине недопустима.

6.5.2.16 После окончания наклейки углеродной ламели до окончательного отверждения адгезива (связующего) следует периодически осматривать состояние выполненного усиления, не допуская провисания ламели. Найденные дефекты немедленно устраняют с помощью шпателей.

6.5.2.17 В случае, если проектом определено нанесение защитного покрытия из полимерцементного состава, то ламели придают шероховатость и на поверхность наносят слой связующего, который «чипсуется» сухим мелким песком для обеспечения сцепления защитного покрытия с внешним усилением. Твердение клея происходит в течение 24 часов при температуре выше 20 °С и 36 часов при температуре от +12 °С до +20 °С. Полная полимеризация клея (для возможности восприятия расчетных нагрузок) происходит не менее чем через 5 суток при температуре +20 °С.

6.5.3 Устройство внешнего армирования на основе углеродных сеток

6.5.3.1 Монтаж элементов усиления на цементном вяжущем должен включать в себя выполнение следующих видов работ:

- раскрой углеродной сетки;
- приготовление связующего;
- нанесение первого слоя связующего на основание;
- укладку и вдавливание подготовленных усиливающих элементов;
- нанесение второго (укрывочного) слоя связующего.

6.5.3.2 Раскрой сетки выполняют в соответствии со спецификацией в проекте на ровной, плоской, чистой поверхности. Резать сетку следует с помощью косого ножа для картона, ножниц.

6.5.3.3 При необходимости резки сетки в продольном направлении на нее с двух сторон наклеить малярный скотч, и резку осуществлять по нему. Непосредственно после наклейки сетки, ее часть, находящаяся под скотчем, удаляется вместе с ним с помощью ножа.

6.5.3.4 В случае, если углеродная сетка не пропитана, следует произвести ее пропитку стирол-бутадиеновой или акриловой эмульсией.

6.5.3.5 Для монтажа углеродной сетки используются специальные составы на цементной основе. Приготовление связующего производится в соответствии с инструкциями производителя. Для регулировки параметров связующего возможно применение различных добавок, допускаемых производителем.

6.5.3.6 Количество связующего в одной порции не должно превышать технологические возможности его использования в течение времени его жизнеспособности.

6.5.3.7 При нанесении состава механизированным способом (торкретирование, набрызг) следует осуществлять приготовление связующего с запасом, обусловленным отскоком смеси от поверхности основания.

6.5.3.8 Связующее наносится на основание металлическим зубчатым шпателем или механизированным способом.

6.5.3.9 Толщина первого слоя связующего принимается по указаниям производителя, но не менее 3-4 мм.

6.5.3.10 Углеродная сетка укладывается на основание и утапливается в цементное связующее таким образом, чтобы верхняя плоскость элементов усиления была на одном уровне с поверхностью связующего.

6.5.3.11 После укладки и утапливания элементов усиления выполняется нанесение укрывочного слоя. Укрывочный слой выравнивается при помощи шпателя.

6.5.3.12 Толщина укрывочного слоя связующего принимается по указаниям производителя, но не менее 2-3 мм.

6.5.3.13 Отверждение композитного материала системы внешнего армирования, состоящего из цементного связующего и армирующего углеродного наполнителя происходит согласно технической документации производителя с учетом температуры производства работ, но не ранее чем через 12 часов.

6.5.3.14 При устройстве системы внешнего армирования, состоящей из нескольких слоев углеродной сетки, монтаж второго и последующего слоев производится в той же последовательности, что и для первого слоя СВА.

6.5.3.15 При устройстве СВА, состоящей из нескольких слоев углеродной сетки, укрывочный слой наносится только на последний (верхний) элемент усиления.

6.5.3.16 При устройстве многослойных элементов усиления допускается установка без перерыва не более двух слоев. При количестве слоев, большем двух, необходимо устроить технологический перерыв и дождаться отверждения связующего, после чего монтировать следующие слои аналогичным образом. Продолжительность технологического перерыва принимается согласно указаниям производителя, но не менее 12 ч.

При этом на последний слой углеродной сетки, установленный до начала технологического перерыва, укрывочный слой связующего не наносится.

6.5.3.17 После механической подготовки поверхности необходимо выполнить увлажнение основания водой. Увлажнение выполняется до насыщения основания, но при этом на поверхности не должна оставаться невпитавшаяся влага (не должно быть луж, конденсата и т.д.).

Увлажнение может выполняться ручным способом (кистью) или механизированным (распылителем).

После увлажнения излишки воды удаляются ветошью, сухой сжатой воздухом.

6.5.3.18 Допускается выполнение работ захватками, при этом в зонах перехлеста сеток, монтируемых после срока отверждения связующего, укрывочный слой не наносится.

6.5.3.19 После окончания устройства СВА на основе углеродных сеток в процессе отверждения связующего требуется выполнять уход за поверхностью. Уход за поверхностью СВА выполняется согласно рекомендациям производителя.

6.5.3.20 Допускается устройство углеродных сеток с помощью полимерных связующих на эпоксидной основе. В этом случае, необходимо придерживаться требований и рекомендаций согласно 6.5.1.

6.5.4 Устройство анкеровки для элементов внешнего армирования

6.5.4.1 В местах сопряжения продольных и поперечных стен, стен и перекрытий, пилонов со стенами и т.д. при необходимости выполняется дополнительная анкеровка усиливающих элементов. Она обеспечивается путем установки специальных анкеров из углеродных волокон, пропитанных связующим. Необходимость устройства анкеров устанавливается проектом.

6.5.4.2 Анкеры производятся, как в виде анкерных жгутов заводского изготовления, так и могут быть изготовлены из углеродной ленты. Конструкция анкера устанавливается проектом.

6.5.4.3 Анкерные углеродные жгуты заводского изготовления

6.5.4.3.1 Анкерные углеродные жгуты являются элементами системы внешнего армирования и применяются для анкеровки углеродных лент, тканей, сеток.

6.5.4.3.2 Анкерные углеродные жгуты могут быть установлены следующими способами:

- Одиночная анкеровка – В подготовленное в основании отверстие перпендикулярно углеродному наполнителю (лента, ткань, сетка) устанавливается анкерный жгут, внешняя часть волокон жгута распределяется по кругу (рис. 11);

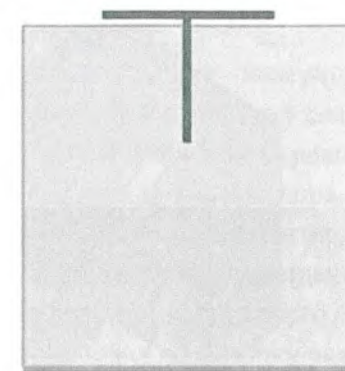


Рисунок 11 – Одиночная анкеровка

- Двойная анкеровка – В подготовленное в основании сквозное отверстие перпендикулярно углеродному наполнителю (лента, ткань, сетка) устанавливают анкерный жгут, внешние волокна жгута распределяются по кругу на обеих сторонах сквозного отверстия (рис. 12);

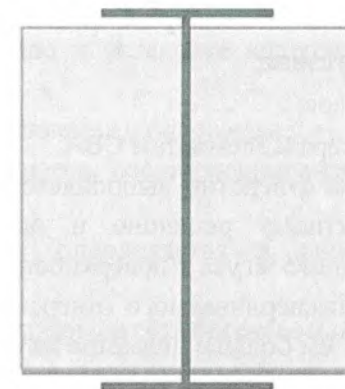


Рисунок 12 – Двойная анкеровка

- Параллельная анкеровка – В подготовленное в основании отверстие, параллельно или под углом к углеродному наполнителю ткани устанавливают анкерный жгут, внешняя часть волокон жгута распределяется V-образно (рис. 13).

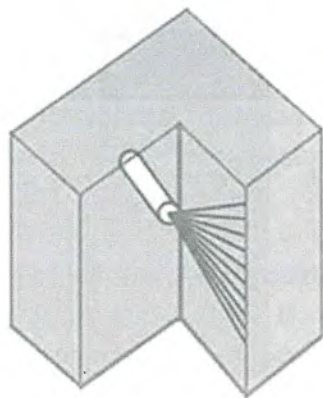


Рисунок 13 – Параллельная анкеровка

6.5.4.3.3 Устройство анкеровки СВА с применением углеродных жгутов производится в следующей последовательности выполнения технологических операций:

- подготовка отверстий и основания для установки анкеров;
- подготовка элементов анкеровки;
- подготовка адгезива;
- установка анкера;
- крепление анкера к элементам СВА.

6.5.4.3.3.1 Подготовка отверстий выполняется с разметки мест установки анкеров согласно проектному решению и определения типа анкеровки (сквозная, наклон углеродного жгута к поверхности установки).

6.5.4.3.3.2 Диаметр высверливаемого отверстия для установки анкерного жгута должен быть на 3-4 мм больше диаметра жгута.

6.5.4.3.3.3 Глубина, тип и наклон к плоскости основания высверливаемого отверстия определяется проектным решением.

6.5.4.3.3.4 Для исключения возможности повреждения волокон жгута, устье отверстия должно быть раззенковано. Размер фаски устья отверстия принимается согласно проектному решению (рекомендуется принимать размер фаски не менее 1-2 см).

6.5.4.3.3.5 При установке жгута сквозь основание необходимо выполнить высверливание отверстий с двух сторон навстречу друг к другу. Не допускается

сверление насквозь. При сверлении отверстий навстречу друг к другу необходимо соблюдать их соосность.

6.5.4.3.3.6 Отверстие для установки анкерного жгута должно быть очищено и обеспылено. Очистку устья отверстия рекомендуется осуществлять металлическими щетками. Обеспыливание рекомендуется производить продувкой с использованием насоса или компрессора.

6.5.4.3.3.7 Подготовка усиливающих элементов должна производиться в заводских условиях или в специальном помещении на стройплощадке и включает в себя нарезку углеродного анкерного жгута в соответствии с проектной документацией, маркировку и упаковку раскрытых элементов.

Анкерные жгуты должны быть нарезаны на заготовки, длина и количество которых определяются в соответствии с проектной документацией.

Нарезка жгута должна осуществляться на гладком столе (верстаке), покрытом полиэтиленовой пленкой. Для резки жгута рекомендуется использовать нож или ножницы.

Не допускается смещение оплетки жгута при резке для защиты от вытягивания волокон.

Раскрытые заготовки помещаются в упаковочную тару и снабжаются этикеткой с указанием номера, размера и количества заготовок.

6.5.4.3.3.8. По отношению к установке анкерный жгут состоит из двух частей:

- анкерная часть, закрепляемая в основании;
- распущенная веером часть, соединяющая анкерную часть с элементом СВА.

Длина каждой части определяется в соответствии с проектной документацией.

6.5.4.3.3.9 Пропитка анкерного жгута адгезивом осуществляется на всю его длину. Для этого рекомендуется сместить оплетку жгута примерно до середины длины жгута и пропитать оголенную часть. После пропитки оплетка перемещается обратно. Таким же образом необходимо осуществить пропитку второй части жгута. Полное снятие оплетки во время пропитки анкерного жгута не допускается.

6.5.4.3.3.10 Нанесение адгезива рекомендуется осуществлять с помощью кисти. После пропитки анкерного жгута рекомендуется поместить металлическую спицу в центр на всю длину жгута. Диаметр спицы подбирается в зависимости от диаметра углеродного жгута так, чтобы исключить

повреждение и вытягивание волокон анкера в процессе монтажа (рекомендуемый диаметр спицы от 1 до 3 мм).

6.5.4.3.3.11 Отверстие в основании заполняется адгезивом на всю его глубину. Для заполнения рекомендуется применять пистолет или пластиковую воронку. Заполнение адгезивом сквозного отверстия рекомендуется вести с двух сторон.

6.5.4.3.3.12 Пропитанный жгут вместе с оплеткой и (при необходимости) установленным металлическим стержнем помещается в отверстие на проектную глубину. После установки оплетка со свободной стороны снимается, и металлический стержень вынимается из анкерного жгута. При выполнении данной технологической операции необходимо исключить вытягивание волокон анкера наружу.

В процессе установки анкерного жгута в отверстие необходимо исключить вовлечение воздуха в адгезив.

6.5.4.3.3.13 Крепление распущенных частей анкерного жгута («веера») и распределение волокон осуществляется в соответствии с проектной документацией.

При креплении распущенной части анкерного жгута к подготовленной поверхности основания конструкции до начала установки жгута следует нанести адгезив на поверхность основания.

6.5.4.3.3.14 Соединение распущенной части жгута и элемента усиления (ленты, ткани, сетки) рекомендуется двумя способами:

- установка под элементы СВА (на основание);
- установка поверх не полимеризованного (в течение времени жизнеспособности) накрывочного слоя адгезива элементов СВА.

Работы по креплению жгута к элементу СВА должны быть выполнены в течение срока жизнеспособности адгезива.

6.5.4.4 Изготовление анкера из углеродной ленты

6.5.4.4.1 Изготовление анкера из углеродной ленты включает в себя следующие операции:

- на половине длины отрезка ленты (длиной 300-400 мм) вынимается уточная нить;
- часть ленты с уточной нитью пропитывается связующим;
- непосредственно после пропитки связующим, отрезок ленты сворачивается в поперечном направлении и фиксируется несколькими скрутками из уточной нити;

- после полимеризации связующего образуется заготовка анкера с жесткой стержневой частью и венчиком (см. рис. 14).

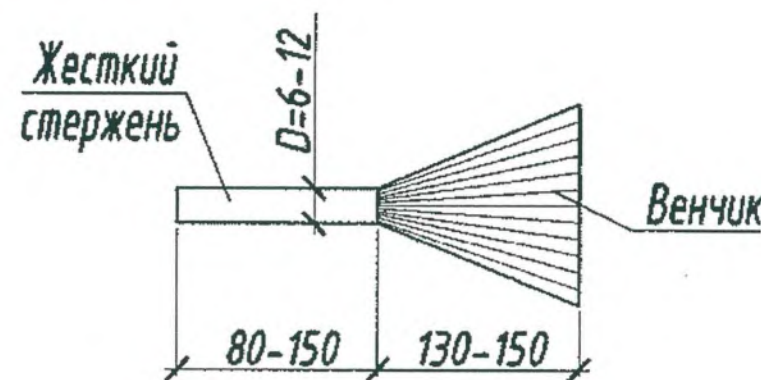


Рисунок 14 – Анкер из углеродной ленты

6.5.4.4.2 Последовательность выполнения работ при установке анкера из углеродной ленты:

- в усиливаемой конструкции, высверлить отверстия. Расположение, диаметр и глубина отверстий устанавливается проектом;
- вход в отверстие расширить (раззенковать) для возможности свободно разворачивания волокна «венчика». Для расширения используют сверло диаметром 25 мм, формируя конусообразный вход;
- продуть отверстия сжатым воздухом для удаления пыли от сверления. Воздух подают внутрь скважины по трубке меньшего диаметра;
- перед установкой анкера, скважину более чем на половину заполнить адгезивом;
- жесткую часть анкера погрузить в скважину. При этом конец жесткой части со стороны «венчика» должен быть утоплен примерно на 1 см от поверхности, а избыток адгезива выдавлен на поверхность и удален шпателем;
- после установки свободную непропитанную часть расправить, придав ей форму треугольника, затем выполнить пропитку «венчика» и его фиксацию в проектном положении на поверхности конструкции.

6.5.5 Нанесение защитного покрытия

6.5.5.1 Через 6-12 часов после нанесения финишного слоя связующего, на поверхность внешнего армирования с помощью распылителя, кисти или

шпателя наносят защитный слой полимерцементного защитного состава толщиной 3 мм (если иное не установлено проектом).

6.5.5.2 После твердения полимерцементного состава при необходимости нанести огнезащитное покрытие, выравнивающую штукатурку или отделочное покрытие. Подбор огнезащитного покрытия осуществляют в соответствии с требованиями Технического задания и действующими нормами.

6.6 Материалы, рекомендуемые для устройства внешнего армирования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений

В качестве материалов для устройства внешнего армирования для усиления, восстановления, реконструкции, ремонта железобетонных строительных конструкций гидротехнических сооружений рекомендуется применять следующие материалы системы внешнего армирования FibArm:

а) армирующие материалы:

- 1) углеродные однонаправленные ленты FibArm Tape;
- 2) углепластиковые ламели (ламинаты) FibArm Lamel;
- 3) углеродные сетки FibArm Grid;
- 4) углеродные двунаправленные ткани FibArm Tape;
- 5) углеродные мультиаксиальные ткани;
- 6) ленты углеродные однонаправленные из плоских нитей (нетканый материал) FibArm Spread Tape;
- 7) углеродные анкерные жгуты FibArm Anchor.

б) термореактивные адгезивы и связующие:

- 1) двухкомпонентный эпоксидный состав FibArm Resin 230 (применяется для пропитки углеродных волокнистых наполнителей с поверхностной плотностью до 530 г/м²);
- 2) эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin 230+ (применяется для пропитки углеродных волокнистых наполнителей с поверхностной плотностью до 300 г/м²);
- 3) эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin 530+ (применяется для пропитки углеродных волокнистых наполнителей с повышенной поверхностной плотностью);
- 4) эпоксидный двухкомпонентный клей FibArm Resin Laminate+ (применяется в качестве адгезива для углепластиковых ламелей);

5) эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin WS+ (применяется для устройства системы внешнего армирования на влажных поверхностях и под водой);

6) эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin HT+ (с повышенной температурой стеклования, применяется для устройства системы внешнего армирования на поверхностях, эксплуатирующихся при температурах 60-110 °С).

в) ремонтные составы:

- 1) сухая смесь ремонтный состав FibArm Repair ST (применяется при подготовке поверхности для ремонта дефектов в бетонных и железобетонных конструкциях глубиной более 25 мм);
- 2) сухая смесь ремонтный состав FibArm Repair FS (применяется при подготовке поверхности для ремонта дефектов в бетонных и железобетонных конструкциях глубиной 2-40 мм; в качестве защитного покрытия толщиной от 2 мм; при устройстве углеродных сеток).
- 3) сухая смесь «Ремонтный состав FibArm Repair Shotcrete» (применяется для нанесения механизированным способом).

6.7 Контроль качества выполнения работ по усилению железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования

6.7.1 Общие положения

6.7.1.1 Общие принципы строительного контроля изложены в СП 48.13330.2011.

6.7.1.2 Проверка качества работ по ремонту и усилению конструкций внешним армированием композитными материалами включает в себя следующие основные виды контроля:

- оценка соответствия состояния конструкций принятому в проекте усилению (см. 6.7.2);
- входной контроль качества поступающих на строительную площадку строительных материалов и изделий (см. 6.7.3);
- контроль соблюдения правил складирования и хранения материалов и изделий (см. 6.7.4);

- операционный контроль (см. 6.7.5);
- освидетельствование скрытых работ (см. 6.7.6);
- приемочный контроль законченного этапа работ (см. 6.7.7).

6.7.1.3 При осуществлении контроля следует учитывать требования ТР к температуре окружающей среды и усиливаемых конструкций во время производства работ, а также придерживаться требований настоящего СТО и инструкции производителя СВА по контролю качества при проведении авторского надзора над производством работ по усилению железобетонных конструкций композитными материалами.

6.7.2 Оценка состояния конструкций перед ремонтом и усилением

6.7.2.1 Перед началом работ по усилению железобетонных конструкций композитными материалами ответственный производитель работ с привлечением представителей авторского надзора проводит осмотр конструкции и проверяет соответствие видимых дефектов, учтенным при проектировании усиления.

6.7.2.2 При выявлении дополнительных дефектов составляется акт осмотра. Для начала производства работ требуется заключение и рекомендации проектной организации по их устранению с оформлением соответствующего документа.

6.7.2.3 Перед началом выполнения работ по усилению железобетонных конструкций ГТС композитными материалами необходимо получить документальное подтверждение соответствия прочности бетона требованиям ТР.

6.7.2.4 В случаях, когда нет данных о прочности бетона усиливаемых конструкций, необходимо ее определить неразрушающими методами в соответствии с ГОСТ 22690 и руководством [14] и проверить выполнение требований ТР. При отклонении от этих требований решение о возможности усиления или изменения схем армирования остается за проектной организацией.

6.7.3 Входной контроль

6.7.3.1 Входной контроль осуществляют при получении строительных материалов и изделий на строительной площадке ответственный производитель работ, либо назначенный им специалист.

6.7.3.2 Входной контроль распространяется на все используемые при производстве работ материалы и изделия.

6.7.3.3 Входной контроль специальных ремонтных материалов осуществляют в соответствии с действующими нормативами или инструкциями производителя на каждый из них.

6.7.3.4 Входной контроль поставляемых на строительную площадку строительных материалов включает:

- проверку наличия этикеток на упаковках материалов,
- идентификацию материалов по накладным (сверку соответствия названий материалов на этикетках сопроводительным документам),
- проверку номенклатуры и количества поставленных материалов,
- проверку сохранности упаковки,
- проверку наличия и содержания документов поставщиков, содержащих сведения о качестве поставленной ими продукции (сертификаты, паспорта качества и пр.), ее соответствия требованиям проекта,
- проверку срока годности материала (фактический срок хранения всех материалов не должен превышать допустимый срок хранения, указанный на упаковке).

6.7.3.5 В случаях выявления нарушений при осуществлении 6.7.3.4 материал возвращается поставщику для замены.

6.7.3.6 Результаты входного контроля заносятся в журнал входного контроля.

6.7.4 Контроль соблюдения правил складирования и хранения

6.7.4.1 Контроль соблюдения правил складирования и хранения материалов и изделий осуществляет ответственный производитель работ, либо назначенный им специалист.

6.7.4.2 Контроль правил складирования включает в себя периодическую проверку соответствия условий, в которых хранятся материалы и изделия на

строительной площадке, ТУ и рекомендациям производителя.

6.7.4.3 Контроль соблюдения правил складирования и хранения материалов и оборудования включает контроль:

- температуры окружающей среды;
- влажности воздуха (не больше 80 %);
- отсутствия попадания на место хранения осадков, прямых солнечных лучей;
- проветриваемости (воздухообмена) помещения;
- соблюдения требований к ограничению доступа;
- зонирования расположения материалов по названию, горючести и т.д.

6.7.4.4 Результаты контроля заносятся в журнал хранения и учета строительных материалов и оборудования.

6.7.5 Операционный контроль

6.7.5.1 Операционный контроль ремонта и усиления должен выполнять ответственный производитель работ или назначенные им специалисты, прошедшие обучение.

6.7.5.2 Операционный контроль включает в себя проверку соответствия состава, последовательности, метода выполнения и качества осуществляемых технологических операций требованиям проектной документации и ТР.

6.7.5.3 Операционный контроль ведения работ включает в себя:

- контроль восстановления целостности и геометрической формы усиливаемых конструкций – выполняется в соответствии с 6.7.5.4;
- контроль подготовки поверхности конструкции под наклейку ткани – выполняется в соответствии с 6.7.5.5;
- контроль устройства элементов внешнего армирования – выполняется в соответствии с 6.7.5.6;
- контроль устройства защитного полимерцементного покрытия – выполняется в соответствии с 6.7.5.7.

6.7.5.4 Контроль восстановления целостности и геометрической формы усиливаемых конструкций включает в себя:

а) контроль удаления непрочных участков конструкции с проверкой:

- 1) правильности определения границ непрочных участков бетона ремонтируемой конструкции (для этого ее поверхность простукивают молотком весом 100 г; непрочные, «буклящие» участки имеют характерный глухой тон и должны быть удалены);

- 2) соответствия размеров захваток по расчистке дефектных участков конструкции ТР (проверка выполняется с помощью измерительного инструмента – рулеток, линеек и пр.);
- 3) соответствия разметке границ удаляемого бетона;
- 4) выполнения требования ТР о недопустимости излишней зачистки (зачистки «до блеска») обнаженных прокорродированных металлических поверхностей (контролируется визуально);
- 5) соблюдения требования о недопустимости повреждения рабочей арматуры конструкции при выполнении работ (осуществляют визуально);
- 6) отсутствия на поверхности обнаженных металлических закладных деталей и арматуры остатков пластовой коррозии, слабо держащихся частиц бетона, высолов, грязи и пр. (осуществляется визуально и с помощью острого инструмента);
- 7) отсутствие пыли на поверхности с помощью влажной ветоши (ветошь должна быть чистой после протирки поверхности);
- 8) соответствие оформления границ ремонтируемых зон требованиям ТР (проверяется визуально).

Примечание – Контроль по 1)а) 6.7.5.4 – 5)а) 6.7.5.4 осуществляется непосредственно в процессе выполнения работ, по 6)а) 6.7.5.4 – 8)а) 6.7.5.4 – после их окончания.

б) контроль антикоррозионных мероприятий с проверкой:

- 1) достаточности количества нанесения на обрабатываемые поверхности ингибитора коррозии и преобразователя ржавчины следует контролировать по их расходу;
- 2) равномерности нанесения ингибитора коррозии и преобразователя ржавчины на обрабатываемые поверхности определяют визуально по наличию потеков, участков с разным оттенком;
- 3) отсутствия необработанных ингибитором коррозии участков бетона ремонтируемой конструкции в зонах обнаженной арматуры и закладных деталей, подвергнутых коррозии, в зонах со следами протечек, высолов, ржавых пятен и других признаков снижения защитных свойств бетона по отношению к арматуре проверяется визуально по специфическому налету;
- 4) наличия обработки стержневой обнаженной арматуры и закладных деталей грунтом-преобразователем ржавчины отсутствие необработанных участков определяют визуально по цвету покрытия от прозрачного (с блеском) до черного.

Примечание – Контроль по 1) б) 6.7.5.4 и 2) б) 6.7.5.4 осуществляется непосредственно в процессе выполнения работ.

в) контроль восстановления поврежденного бетона с:

- 1) проверкой отсутствия не загрунтованных раствором латексной эмульсии поверхностей ремонтируемой конструкции в зонах контакта с ремонтным материалом – визуально по характерному мокрому глянцевому цвету;
- 2) проверкой правильности приготовления рабочих составов ремонтных смесей, грунтовок и пр. материалов, время их выработки – в соответствии с ТР, инструкциями производителя и визуально по консистенции;
- 3) проверкой соответствия толщины укладываемого слоя ремонтной смеси требованиям ТР и инструкций производителя – с помощью шупа и линейки;
- 4) проверкой отсутствия высыхания отремонтированных участков в течение первых шести часов после укладки ремонтной смеси – визуально по цвету поверхности;
- 5) проверкой отсутствия бухтящих, отслаивающихся участков отвердевшего ремонтного состава – легким простукиванием поверхности конструкции молотком весом 100 г;
- 6) проверкой отсутствия усадочных трещин ремонтного состава – визуально;
- 7) изготовлением (не реже 1 раза в смену) контрольных образцов размером $7 \times 7 \times 7$ см в количестве 3 шт. необходимо с передачей их для последующих испытаний на прочность при сжатии в возрасте 28 суток по ГОСТ 18105;
- 8) проведением испытания на прочность в возрасте 28 суток в соответствии с ГОСТ 18105 контрольных образцов ремонтного состава, изготовленных по 7) в) 6.7.5.4.

Примечание – Контроль по 1) в) 6.7.5.4 – 4) в) 6.7.5.4 осуществляется непосредственно в процессе выполнения работ, по 5) в) 6.7.5.4 – 8) в) 6.7.5.4 – после окончания работ и твердения ремонтного состава.

г) контроль ремонта трещин с проверкой:

- 1) ширины раскрытия трещин, выбранных для ремонта затиркой раствором или инъектированием – с помощью трещиномера.
- 2) отсутствия (при использовании контактных пакеров) герметизации трещины в зоне выходных отверстий штуцеров – визуально.

- 3) глубины и направления отверстий (при использовании буровых пакеров) в бетоне ремонтируемой конструкции (они должны «подсекать» инъектируемую трещину) – инструментально с помощью шупа и линейки.
- 4) шага установки пакеров – инструментально с помощью рулетки.
- 5) герметичности устьев инъектируемых трещин (перед началом подачи смолы и в процессе инъектирования по наличию потеков из-под запечатывающего слоя) – визуально.
- 6) соблюдения правил инъектирования, указанных в ТР.
- 7) расхода смолы – визуально по измерительным рискам на емкости насоса.
- 8) полноты заполнения устьев трещин смолой – визуально после удаления запечатывающего состава.
- 9) качества затирки трещин ремонтным составом, отсутствие пропусков при ремонте трещин раскрытием до 0,3 мм – визуально.

Примечание – Контроль по 1) г) 6.7.5.4 – 7) г) 6.7.5.4 осуществляется непосредственно в процессе выполнения работ, по 8) г) 6.7.5.4 и 9) г) 6.7.5.4 – после окончания работ.

6.7.5.5 Контроль подготовки поверхности конструкции под наклейку ткани осуществляется непосредственно в процессе выполнения работ и включает в себя проверку:

- соответствия выбранных в проекте материалов для выравнивания поверхности параметрам ремонтируемых дефектов (по минимальному/максимальному слою нанесения, типу поверхности – пол/потолок);
- правильности нанесения разметки поверхности конструкции – инструментально с помощью рулетки;
- размеров катетов фасок и галтелей на углах конструкции в местах наклейки углеродной ленты – инструментально с помощью линейки;
- отсутствия на поверхности усиливаемых конструкций цементной пленки, остатков отделки, масляных пятен и пр. загрязнений – визуально;
- ровности основания (допуски неплоскостности приведены в ТР) – инструментально 2-х метровым правилом, линейкой длиной 30 см, шупом, наличие шероховатости – визуально;
- отсутствия пыли на поверхности – с помощью влажной ветоши;
- влажности основания – с помощью влагомера;
- температуры основания инструментально с помощью бесконтактного термометра.

6.7.5.6 Контроль устройства элементов внешнего армирования включает в себя:

а) контроль раскроя ленты, ткани, сетки или ламината (далее – композитных материалов) с проверкой:

1) соответствия типа используемого композитного материала проекту – визуально по ярлыкам на упаковках.

2) отсутствие дефектов композитного материала – визуально в процессе раскроя:

- наличие физических повреждений и брака;
- наличия загрязнения, нарушения структуры.

3) длину и ширину композитного материала – инструментально с помощью рулетки (погрешность длины не должна превышать 30 мм, ширины – 5 мм).

4) чистоту поверхности верстака для раскроя композитного материала – визуально по наличию пыли, мусора и других загрязнений.

5) соблюдение правильности выполнения операций по раскрою армирующего наполнителя и композитного материала (см. 6.5.1.2, 6.5.1.3, 6.5.2.2, 6.5.3.2 и 6.5.3.3).

б) контроль приготовления связующего (адгезива), при котором наблюдают за внешними признаками его качества (в соответствии с инструкциями производителя), при этом:

1) обычно следят за:

- консистенцией, цветом, прозрачностью, отсутствием посторонних включений, однородности компонентов по отдельности и после смешения;
- наличием нехарактерного запаха компонентов (при наличии информации о характерном запахе в описании производителя);
- отсутствием расслоения компонентов.

2) контролируют:

- чистоту используемой тары.
- точность дозирования компонентов связующего/адгезива (по массе).
- объем навесок (он должен быть таким, чтобы его можно было выработать в пределах времени жизнеспособности связующего).

- соответствие длительности и способа смешения рекомендациям производителя.
- соответствие температуры компонентов смеси и окружающего воздуха требованиям ТР.

Примечание – Каждую рабочую смену необходимо изготавливать контрольные образцы диаметром 10 мм и высотой 10 мм для последующих испытаний на прочность при сжатии в возрасте 7 суток.

в) контроль наклейки композитных материалов, в ходе которого:

1) непосредственно в процессе выполнения работ контролируют:

- отсутствие не загрунтованных связующим участков основания (по наличию характерного «мокрого» вида основания);
- количество связующего, нанесенного на загрунтованное основание – органолептический контроль;
- качество прикатки композитного материала – визуально;
- достаточность связующего – визуально и по расходу связующего;
- продолжительность перерыва между наклейкой первых двух слоев и последующих при многослойной (не более 5 слоёв) наклейке;
- последовательность наклейки в каждом направлении при наклейке в двух направлениях – визуально;
- длина перехлеста, правильность стыковки композитных материалов «в разбежку» при выполнении усиливающих элементов, составленных из нескольких композитных материалов – визуально;
- отсутствие отслаивания, провисаний, образования воздушных мешков (пузырей) и прочих дефектов после наклейки композитных материалов до отверждения связующего – визуально;
- температура окружающей среды в процессе наклейки композитных материалов – инструментально.

2) контролируют после окончания работ и твердения связующего:

- расположение и геометрические параметры усиливающих элементов – визуально;
- соответствие геометрических параметров (длина, ширина) и мест расположения (привязка на конструкции) СВА – инструментально (нормы отклонения: по длине ± 30 мм с

каждого конца внешнего армирования, по ширине ± 5 мм, привязка ± 50 мм);

- соответствие фактического направления волокон проектному – визуально (отклонение не более 5 градусов, волокна должны выглядеть натянутыми, плотно прилегающими к основанию, без складок и провисаний, утковая нить не должна быть смещена);
- соответствие количества слоев – визуально по выпускам на концевых участках;
- наличие изменения цвета отдельных участков СВА – визуально (при огневом, химическом или др. воздействии);
- степень высыхания связующего композитного материала – органолептический контроль (липнет/не липнет) и инструментально (твердость по шкале Мооса);
- наличие избыточного содержания связующего;
- качество пропитки связующим армирующих элементов (недостаточность связующего) – визуально (проверяется отсутствие незаполненных участков между прядями ткани, наплывов, потеков, избыточного содержания связующего). Определение наличия «сухих» участков ткани проводится при визуальном осмотре СВА под разным углом к свету, а также легким царапанием накладки острым предметом – при этом волокна шевелятся, пушатся;
- отсутствие на поверхности выступающей текстуры армирующего наполнителя (камень под лентой, несрезанная арматура, вытекшее из не отремонтированной каверны связующее, «пузырей» воздуха, складок) – визуально;
- наличие «бухтящих» участков СВА, отслоений – инструментально (легким простукиванием молотком весом 100 г., звук должен быть звонким, однотонным по всей СВА – глухой тон свидетельствует о наличии дефекта).

3) после окончания работ и твердения связующего проверяют:

- фактическую адгезию композита к бетонной поверхности (для конструкций, где адгезия играет существенную роль для усиленной конструкции) и испытывают все контрольные образцы ремонтных составов, адгезива. В отдельных случаях,

при необходимости (если это предусмотрено проектом усиления) проводятся испытания образцов-представителей СВА. Методика проведения испытаний на адгезию приведена в Приложении Д, а методика изготовления и испытания образцов-представителей композита – в приложении Е;

- отсутствие увлажненных участков СВА и поверхности бетона вокруг него, следов увлажнения, загрязнений, механических повреждений при смежных работах;

4) вырезают дефектные участки, выявленные после окончания работ и твердения связующего, и устанавливают на их месте заплатки с таким же количеством слоев (равнопрочные заплатки); при этом качество ремонтных работ также подлежит дополнительному контролю.

г) контроль нанесения накрывочного слоя связующего и «чипсования» песком, при котором контролируется:

- отсутствие непокрытых связующим участков СВА – визуально;
- отсутствие наплывов, потеков и других признаков излишнего количества связующего – визуально;
- равномерность нанесения песка на не отвердевший накрывочный слой – визуально;
- высыхание СВА – органолептический контроль (после окончания сроков твердения – липнет/не липнет);
- ровность поверхности СВА (не должно быть незаполненных связующим участков между прядями ткани, наплывов и потеков).

д) Контроль устройства анкеров (см. ТР), при котором контролируется:

1) при изготовлении анкера из углеродной ленты инструментально проверяют:

- геометрические размеры композитного материала, тип анкера – инструментально;
- тип ленты для изготовления анкера;
- геометрические размеры стержневой части;
- геометрические размеры венчика заготовки для анкера;

2) при применении анкерного жгута заводского изготовления инструментально и по спецификации производителя проверяют:

- 1) геометрические размеры анкерного жгута;
- 2) тип анкерного жгута;

3) правильность разметки для сверления отверстий под анкера контролируется инструментально;

4) глубина и направление отверстий под анкера контролируется инструментально;

5) отсутствие повреждения рабочей стержневой арматуры при сверлении отверстий контролируется визуально;

6) заполнение отверстий связующим по его расходу – визуально и инструментально;

7) правильность и равномерность распределения венчика по поверхности СВА в соответствии с ТР контролируется визуально.

6.7.5.7 Контроль устройства защитного полимерцементного покрытия, при котором контролируется:

- правильность приготовления полимерцементной смеси – аналогично 2) в) 6.7.5.4;
- равномерность нанесения смеси на поверхность СВА – визуально;
- толщина слоя полимерцемента – инструментально после твердения (с помощью острой части молотка делают скол и измеряют толщину с помощью шупа);
- отсутствие отслоений защитного слоя, бухтящих зон – инструментально (простукиванием молотком весом 100 г);
- твердость защитного слоя полимерцемента – инструментально твердомером Мооса (показатель не менее 2).

6.7.6 Освидетельствование скрытых работ

6.7.6.1 Под скрытыми работами подразумевают технологические операции, результаты которых становятся недоступными для проверки после выполнения последующих операций.

6.7.6.2 Освидетельствование скрытых работ включает в себя проверку соответствия результата их выполнения требованиям проектной документации и ТР.

6.7.6.3 Освидетельствование скрытых работ осуществляет ответственный производитель работ с участием заказчика и представителей авторского надзора.

6.7.6.4 Освидетельствование скрытых работ осуществляют непосредственно перед выполнением последующих операций.

6.7.6.5 До завершения процедуры освидетельствования скрытых работ выполнение последующих этапов работ запрещается.

6.7.6.6 В процессе выполнения комплекса работ по ремонту и усилению должны быть оформлены следующие акты скрытых работ:

- акт освидетельствования работ по очистке поверхности, удалению непрочных участков конструкции;
- акт освидетельствования работ по ремонту, восстановлению целостности и геометрической формы усиливаемых конструкций;
- акт освидетельствования работ по подготовке поверхности конструкции к наклейке усиливающих элементов;
- акт освидетельствования работ по устройству элементов внешнего армирования;
- акт освидетельствования работ по нанесению защитного полимерцементного покрытия.

6.7.6.7 Перечень контрольных мероприятий (операций), которые необходимо выполнить перед подписанием каждого из перечисленных актов, приведен в 6.7.5.

6.7.7 Приемочный контроль законченного этапа работ

6.7.7.1 Под законченным этапом работ в настоящем СТО следует понимать выполненный комплекс мероприятий по ремонту конструкций (включая при необходимости антикоррозионные мероприятия), подготовке основания, устройству усиливающих элементов СВА и защитного слоя полимерцементного состава.

6.7.7.2 Приемочный контроль законченного этапа работ включает в себя проверку соответствия полноты и результата их выполнения требованиям проектной документации по усилению и раздела 6.

6.7.7.3 Приемочный контроль законченного этапа работ осуществляет ответственный производитель работ с участием представителей заказчика и авторского надзора.

6.7.7.4 Приемочный контроль законченного этапа работ осуществляют после завершения всего комплекса работ по ремонту и усилению.

6.7.7.5 При приемке законченного этапа работ:

- проверяется вся исполнительная документация;

- по исполнительным схемам и актам освидетельствования скрытых работ проверяется полнота выполнения каждого вида работ (согласно требованиям проекта усиления);

- проверяются результаты испытания контрольных образцов ремонтных составов и связующего на прочность при сжатии, протоколы испытаний усиливающих элементов СВА на адгезию;

- выполняется осмотр выполненных работ для определения отсутствия дефектов и повреждений элементов усиления.

6.7.7.6 По результатам выполнения 6.7.7.5 представителем заказчика и авторского надзора с участием ответственного производителя работ составляется Заключение о соответствии номенклатуры, объема и качества выполненных работ требованиям проекта усиления или перечень необходимых доработок.

6.7.7.7 После исправления замечаний повторно выполняются требования 6.7.7.5 и 6.7.7.6.

6.8 Безопасность труда и охрана окружающей среды

6.8.1. Компоненты адгезива, растворители, краски, используемые для устройства СВА из композитных материалов на основе углеродных волокон, опасны как для здоровья персонала, так и для окружающей среды. В затвердевшем виде СВА опасности не представляют.

6.8.2 При обработке и подготовке поверхностей под наклейку следует использовать респираторы. Также респираторы необходимы при работе с композитными материалами для защиты органов дыхания. Необходимость использования респираторов диктуется тем, что при нарезании лент и последующей работе с ними на поверхности может скапливаться тонкодисперсная карбоновая пыль.

6.8.3 Готовый адгезив (связующее) может вызвать раздражение кожи и слизистых. Перед началом работы следует обработать руки и открытые участки кожи защитным кремом. Обязательно следует использовать спецодежду, а также резиновые перчатки и защитные очки. При попадании в глаза и на слизистые оболочки следует тщательно промыть пораженные места теплой водой и незамедлительно обратиться к врачу.

6.8.4 Обучение и инструктаж по безопасности труда должен носить непрерывный многоуровневый характер и проводиться на строительных площадках по ГОСТ 12.0.004.

6.8.5 Компоненты СВА ни при каких условиях не должны попадать в почву и водоемы. Все отходы производства в ходе работ и после их завершения должны быть утилизированы согласно рекомендациям поставщиков и изготовителей материалов.

6.8.6 Требования подраздела 6.8 в обязательном порядке должны быть учтены в соответствующем разделе Проекта устройства СВА из композитных материалов на основе углеродных волокон.

Приложение А (справочное)

Примеры расчетов железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных системой внешнего армирования

А.1 Пример 1. Расчет изгибаемого элемента

А.1.1 Исходные данные:

- Изгибаемый железобетонный элемент прямоугольного сечения:

$h = 2,0$ м; $a = a' = 0,15$ м; бетон В15 ($R_b = 8,5$ МПа, $\gamma_b = 1,1$); арматура растянутая АП

($R_s = 365$ МПа, $\gamma_s = 1,1$) Ø36 с шагом 0,4 м.

$\gamma_n = 1,25$ (I класс); $\gamma_c = 1,0$.

- Действующий изгибающий момент 2250 кН м.

А.1.2 Требуется проверить существующее сечение и при необходимости рассчитать усиление.

А.1.3 Расчет.

Статический расчет выполняется для 1,0 м длины элемента ($b = 1$ м).

Площадь армирования для полосы шириной 1,0 м $A_s = 25,4$ см².

Расчет существующего сечения

Определяем высоту сжатой зоны бетона по формуле:

$$x = \frac{\gamma_s R_s A_s - \gamma_s R_{sc} A'_s}{\gamma_b R_b b} = \frac{1,1 \cdot 365 \cdot 25,4}{1,1 \cdot 8,5 \cdot 100} = 10,9 \text{ см}$$

Т.к. $x < \zeta_R h_0 = 0,65185 \cdot 120,25 = 78,3$ см, в расчетах принимаем высоту сжатой зоны 10,9 см.

Проверка прочности нормальных сечений:

$$\begin{aligned} \gamma_n M &= 1,25 \cdot 2250 = 2812,5 \text{ кН м} > \gamma_b R_b b x (h_0 - 0,5x) \\ &= 1,1 \cdot 8,5 \cdot 0,1 \cdot 100 \cdot 10,9 \cdot (120,25 - 0,5 \cdot 10,9) = 182988 \text{ кН см} = 1830,0 \text{ кН м} \end{aligned}$$

Необходимо усиление.

В качестве усиления применим углеродную ленту FibArmTape 230 на связующем FibArmResin 230+.

Характеристики усиления:

$t_f = 0,128$ мм; $R_{f,n} = 3600$ МПа; $E_f = 245$ ГПа; $b_f = 100$ см; $n = 2$ слоя.

Конструкция эксплуатируется на открытом воздухе.

Определяем предельную деформацию СВА:

$$\varepsilon_f = \frac{R_f}{E_f} = \frac{3600}{245000} = 0,0147$$

Расчетная деформация растяжения:

$$\varepsilon_{ft} = \frac{R_{ft}}{E_f} = \frac{0,8 \cdot 3600}{1,2 \cdot 245000} = 0,0098$$

Проверка отслаивания:

$$n E_{ft} t_f = 2 \cdot 245000 \cdot 0,128 = 62720 < 180000$$

Тогда

$$k_m = \frac{1}{60 \varepsilon_{ft}} \left(1 - \frac{n E_{ft} t_f}{360000} \right) = \frac{1}{60 \cdot 0,0098} \left(1 - \frac{62720}{360000} \right) = 1,404 > 0,9$$

Принимаем $k_m = 0,9$

Предельные расчетные деформации СВА:

$$\varepsilon_{fu} = k_m \cdot \varepsilon_{ft} = 0,9 \cdot 0,0098 = 0,00882$$

Расчетное сопротивление растяжению определяется по формуле:

$$R_{fu} = E_f \varepsilon_{fu} = 245000 \cdot 0,00882 = 2160,9 \text{ МПа}$$

Высота сжатой зоны бетона определяется из уравнения (16) и равна:

$$x = \frac{\gamma_s R_s A_s - \gamma_s R_{sc} A'_s + R_f A_f}{\gamma_b R_b b} = \frac{1,1 \cdot 3650 \cdot 25,4 + 21609 \cdot 2,56}{1,1 \cdot 85 \cdot 100} = 16,8 \text{ см}$$

Граничная относительная высота сжатой зоны бетона определяется по формуле:

$$\xi_{Rf} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{fu} + \varepsilon_b^0}{\varepsilon_{b2}}} = \frac{0,8}{1 + \frac{0,0088 + 0}{0,0048}} = 0,282$$

Т.к. $x < \zeta_R h_0 = 0,65 \cdot 185 = 120,25$ см и $x < \zeta_{Rf} h_0 = 0,282 \cdot 185 = 52,17$ см в расчетах принимаем высоту сжатой зоны 16,8 см.

Предельный изгибающий момент, который может быть воспринят усиленным сечением определяется по формуле (15):

$$\begin{aligned} M_{ult} &= \gamma_s R_s A_s \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_f A_f \left(h - \frac{x}{2} \right) = \\ &= 1,1 \cdot 3650 \cdot 25,4 \cdot (185 - 8,4) + 21600 \cdot 2,56 \cdot (200 - 8,4) = 28604558 \text{ кг см} \\ &= 2860,5 \text{ кН м} \end{aligned}$$

Проверка прочности усиленного сечения производится по формуле (12):

$$\gamma_{ic} \gamma_n M = 1,0 \cdot 1,25 \cdot 2250 = 2812,5 \text{ кН м} \leq \gamma_c M_{ult} = 1,0 \cdot 2860 \text{ кН м}$$

А.1.4 Вывод: принятое усиление достаточно, прочность нормального сечения при заданных нагрузках обеспечена.

А.2 Пример 2. Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента

А.2.1 Исходные данные.

- Изгибаемый железобетонный элемент прямоугольного сечения:

$b = 1,0\text{ м}; h = 2,0\text{ м};$ бетон класса В15 ($R_b = 8,5\text{ МПа}, R_{bt} = 0,75\text{ МПа}, \gamma_b = 1,1$).

$\gamma_n = 1,25$ (сооружение I класса).

- Действующие нагрузки: поперечная сила 1300 кН; изгибающий момент 2510 кН·м.

А.2.2 Требуется выполнить проверку прочности в наклонном сечении при действии поперечной силы.

А.2.3 Расчет.

Проверка прочности из условия:

$$\gamma_{lc}\gamma_n Q \leq 0,25\gamma_c\gamma_{b3}R_b b h_0$$

$$0,95 \cdot 1,25 \cdot 1300 = 1543\text{ кН} < 0,25 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,85 = 4324\text{ кН}$$

Проверка прочности из условия:

$$\gamma_{lc}\gamma_n Q \leq \gamma_c\gamma_{b4}R_{bt} b h_0$$

$$0,95 \cdot 1,25 \cdot 1300 = 1543 > 1 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 1,85 = 4324\text{ кН}$$

Условие не выполняется, требуется усиление.

Угол между наклонным сечением и продольной осью элемента определяется по формуле (62) и равен:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{2}{1 + \frac{2510}{1300 \cdot 1,85}} = 0,98 < 1,5$$

Длина проекции наклонного сечения:

$$c = \frac{h_0}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{1,85}{0,98} = 1,89\text{ м}$$

Относительная высота сжатой зоны определяется по формуле (60) и равна:

$$\xi = \frac{\mu R_s}{R_b} = \frac{A_s}{b h_0} \cdot \frac{R_s}{R_b} = \frac{25,4}{100 \cdot 185} \cdot \frac{3650}{85} = 0,059$$

Коэффициент φ равен:

$$\varphi = 0,5 + 2\xi = 0,5 + 2 \cdot 0,059 = 0,628$$

Поперечное усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны в наклонном сечении определяется по формуле (59) и равно:

$$Q_b \leq \varphi R_{bt} b h_0 \frac{\operatorname{tg}\beta}{1,2} \cdot 10^3 = 0,618 \cdot 0,75 \cdot 1,0 \cdot 1,85 \cdot \frac{0,98}{1,2} \cdot 10^3 = 700,3\text{ кН} < 1300\text{ кН}$$

Требуется усиление в зоне наклонного сечения

В качестве усиления применим углеродную ленту FibArmTape 230 на связующем FibArmResin 230+.

Характеристики усиления:

$t_f = 0,128\text{ мм}; R_{f,n} = 3600\text{ МПа}; E_f = 245\text{ ГПа}; b_f = 300\text{ мм}; n = 3\text{ слоя}; s_w = 300\text{ мм}$

$$A_{f,sh} = 2nt_f s_w = 2 \cdot 3 \cdot 0,128 \cdot 2 \cdot 300 = 460,8\text{ мм}^2 = 4,61\text{ см}^2$$

Поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой из полимерных композитов в наклонном сечении определяется по формуле (73) и равна:

$$Q_{fw} = \psi_f A_{f,sh} \sigma_{fu}$$

ψ_f – коэффициент зависящий от схемы наклейки хомутов, для двусторонних хомутов принимается равным 0,85

$$\sigma_{fu} = \varepsilon_{fe} E_f$$

Предельные деформации СВА принимаются равными 0,0035

$$\sigma_{fu} = 0,0035 \cdot 2450000 = 857,5\text{ МПа}$$

$$Q_{fw} = \psi_f A_{f,sh} \sigma_{fu} = 0,85 \cdot 4,61 \cdot 8575 = 37554\text{ кг} = 375,74\text{ кН}$$

Проверка условия прочности:

$$Q_b + Q_{fw} = 700,3 + 375,74 = 1076,04\text{ кН} < \gamma_{lc}\gamma_n Q = 1,0 \cdot 1,25 \cdot 1625\text{ кН}$$

Условия не выполняются, необходимо дополнительное армирование.

В качестве усиления применим углеродную ленту FibArmTape530 на связующем FibArmResin530+.

Характеристики усиления:

$t_f = 0,294\text{ мм}; R_{f,n} = 3600\text{ МПа}; E_f = 245\text{ ГПа}; b_f = 300\text{ мм}; n = 3\text{ слоя}; s_w = 300\text{ мм}$

$$A_{f,sh} = 2nt_f s_w = 2 \cdot 3 \cdot 0,294 \cdot 3 \cdot 300 = 1587,6\text{ мм}^2 = 15,87\text{ см}^2$$

$$Q_{fw} = \psi_f A_{f,sh} \sigma_{fu} = 0,85 \cdot 15,87 \cdot 8575 = 115672\text{ кг} = 1134,7\text{ кН}$$

Проверка условия прочности:

$$Q_b + Q_{fw} = 700,3 + 1134,77 = 1834,77\text{ кН} > \gamma_{lc}\gamma_n Q = 1,0 \cdot 1,25 \cdot 1625\text{ кН}$$

А.2.4 Вывод: несущая способность наклонного сечения обеспечена.

А.3 Пример 3. Расчет ширины раскрытия трещин

А.3.1 Исходные данные. Изгибаемый железобетонный элемент прямоугольного сечения, аналогичный рассмотренному Примеру №1.

А.3.2 Требуется выполнить расчет ширины раскрытия трещин при действии изгибающего момента 2250 кН·м.

А.3.3 Расчет. Коэффициенты приведения стальной и композитной арматуры к бетону определяются по формуле (88) и равны:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200000}{24000} = 8,33$$

$$\alpha_f = \frac{E_f}{E_b} = \frac{245000}{24000} = 10,2$$

Площадь сечения приведенного поперечного сечения элемента определяется по формуле (87):

$$A_{red} = 100 \cdot 200 + 25,4 \cdot 8,33 + 2,56 \cdot 10,2 = 20237,69$$

$$S_{red} = 100 \cdot 200 \cdot 100 + 25,4 \cdot 8,33 \cdot 185 + 2,56 \cdot 10,2 \cdot 200,0128 = 2044365,4 \text{ см}^3$$

Положение центра тяжести:

$$y_t = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{2044365,4}{20237,69} = 101,02 \text{ см}$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения относительно его центра тяжести, определяемый с учетом внешней арматуры из полимерных композитов по формуле (86) равен:

$$I_{red} = \frac{100 \cdot 200^3}{12} + 100 \cdot 200 \cdot 1,02^2 + 8,33 \cdot (2,5 \cdot 3,6^3 + 25,4 \cdot 86,02^2) + 10,2 \cdot \left(100 \frac{0,0256^3}{12} + 100 \cdot 0,0256 \cdot 101,03^2 \right) = 68519664,87 \text{ см}^4$$

Упругий момент сопротивления определяется по формуле (84) и равен:

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{68519664,87}{101,02} = 678278,2 \text{ см}^3$$

Упруго-пластический момент сопротивления определяется по формуле (83) и равен:

$$W_{pl} = \gamma \cdot W_{red} = 1,3 \cdot 678278,2 = 881761,7 \text{ см}^3$$

Момент образования трещин определяется по формуле (82) и равен:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pl} \pm N e_x = 1,15 \cdot 0,1 \cdot 881761,7 = 101402,6 \text{ кНсм} = 1014 \text{ кНм}$$

Расчет ширины раскрытия трещин

Коэффициент δ для изгибаемых конструкций принимается равным 1,0;

Коэффициент φ_l при водонасыщенном состоянии бетона принимается равным 1,0;

Коэффициент η при применении стальной арматуры периодического профиля принимается равным 1,0;

Приведенная площадь армирования определяется по формуле (92) и равна:

$$A_{sf} = A_s + A_f \cdot \frac{R_f}{\gamma_s R_s} = 25,4 + 2,56 \cdot \frac{21609}{1,1 \cdot 3650} = 39,18 \text{ см}^2$$

Коэффициент армирования сечений равен:

$$\mu = \frac{39,18}{100 \cdot 200} = 0,002$$

Высота сжатой зоны бетона определяется из уравнения (16) и равна:

$$x = \frac{\gamma_s R_s A_s - \gamma_s R_{sc} A'_s + R_f A_f}{\gamma_b R_b b} = \frac{1,1 \cdot 3650 \cdot 25,4 + 21609 \cdot 2,56}{1,1 \cdot 85 \cdot 100} = 16,8 \text{ см}$$

Тогда плечо внутренней пары сил равно:

$$z = h_0 - \frac{x}{2} = 185 - \frac{16,8}{2} = 176,6 \text{ см}$$

Напряжения в арматуре изгибаемых элементов при расчетах ширины раскрытия трещин следует определять по формуле (94):

$$\sigma_{sf} = \frac{M}{A_{sf} z} = \frac{2250 \cdot 100}{39,18 \cdot 176,6} = 32,5 \text{ кН/см}^2 = 325 \text{ МПа}$$

Ширина раскрытия трещин определяется по формуле (91) и равна:

$$a_{cr} = \delta \varphi_l \eta [7(4 - 100\mu) \sqrt{d(\sigma_{sf} - \sigma_{s,bg}) / E_s}]$$

$$a_{cr} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot [7(4 - 100(0,002)) \cdot \sqrt{36 \cdot \frac{(325-20)}{200000}}] = 0,24 \text{ мм}$$

А.3.4 Вывод: ширина раскрытия трещин составит 0,24 мм.

А.4 Пример 4. Расчет деформаций

А.4.1 Дано. Изгибаемый железобетонный элемент прямоугольного сечения, аналогичный рассмотренному в Примере №1.

А.4.2 Требуется выполнить расчет прогиба при действии изгибающего момента 2250 кН·м.

А.4.3 Расчет. Коэффициенты приведения стальной и композитной арматуры к бетону определяются по формуле (88) и равны:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200000}{24000} = 8,33$$

$$\alpha_f = \frac{E_f}{E_b} = \frac{245000}{24000} = 10,2$$

Приведенная площадь армирования определяется по формуле (92) и равна:

$$A_{sf} = A_s + A_f \cdot \frac{R_f}{\gamma_s R_s} = 25,4 + 2,56 \cdot \frac{21609}{1,1 \cdot 3650} = 39,18 \text{ см}^2$$

Коэффициент армирования сечения равен:

$$\mu = \frac{39,18}{100 \cdot 200} = 0,002$$

Высота сжатой зоны бетона в предположении распределения напряжений по высоте сечения – по линейному закону:

$$x = h_0 \left(\sqrt{(\alpha\mu)^2 + 2\alpha\mu} - \alpha\mu \right) = 1,85 \left(\sqrt{(8,33 \cdot 0,002)^2 + 2 \cdot 8,33 \cdot 0,002} - 8,33 \cdot 0,002 \right) = 0,308 \text{ м}$$

$$I_b = \frac{100 \cdot 32^3}{3} = 1092266 \text{ см}^4$$

$$\alpha I_s = 8,33 \cdot 25,4 \cdot (185 - 30,8)^2 = 5030920 \text{ см}^4$$

$$\alpha_f I_f = 10,2 \cdot 2,56 \cdot (200 - 30,8)^2 = 747551,05 \text{ см}^4$$

Жесткость усиленного элемента определяется по формуле (98):

$$B_k = 1,1 E_b (I_b + \alpha I_s + \alpha_f I_f) = 1,1 \cdot 24000 \cdot (1092266 + 5030920 + 747551,05) = 18,1 \cdot 10^{10} \text{ МПа} \cdot \text{см}^4 = 18,1 \cdot 10^5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Прогиб при данной расчетной схеме определяется по формуле:

$$f_{\max} = \frac{q \cdot l^4}{384 B_k} = \frac{M \cdot l^2}{16 B_k} = \frac{2250 \cdot 10^2}{16 \cdot 18,1 \cdot 10^5} = 0,0078 \text{ м} = 7,8 \text{ мм}$$

Приложение Б

(рекомендуемое)

Примеры технических решений усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений системой внешнего армирования

Б.1 Общие положения

Б.1.1 В настоящее приложение входят технические решения усиления следующих гидротехнических сооружений и их конструкций, находящихся под воздействием водной среды:

- подпорных стен;
- стен каналов, лотков, камер шлюзов;
- подпорных стен с контрфорсами;
- напорных водоводов кольцевого очертания;
- подпорных стен зданий ГЭС;
- перекрытий зданий ГЭС.

Б.1.2 В приложение также входят технические решения по усилению конструкций гидротехнических сооружений, находящиеся вне прямого воздействия водной среды (верхние строения плотин, зданий ГЭС, шлюзов и других гидросооружений):

- консолей;
- колонн;
- стен;
- сборных и монолитных ригелей;
- сборных и монолитных плит.

Б.1.3 Усиление или Восстановления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений следует производить на основе результатов их натурного обследования и поверочного расчета.

Б.1.4 Натурные обследования следует проводить с учетом указаний ГОСТ 31937, ГОСТ 17624, ГОСТ 22690, ГОСТ 22904 и ГОСТ 28570. Поверочные расчеты конструкции следует производить на основе проектных материалов и результатов натурных обследований и с учетом указаний СП 63.13330.2012.

Б.1.5 Схемы усиления должны выбираться таким образом, чтобы эти усиления увеличивали прочность и трещиностойкость и уменьшали деформативность, обеспечивали простоту монтажа элементов усиления, позволяли производить работы с меньшим ущербом для действующего производства.

Б.1.6 При разработке проектов усиления строительных конструкций сооружений гидротехнического назначения рабочие чертежи выполняются на базе настоящего альбома технических решений. При этом, установив характер работы элементов, требующих усиления, назначают тип усиления и определяют параметры, требующие расчета. Расчет усиленных элементов выполнять в соответствии с указаниями раздела 5.

Б.2 Усиление подпорных стен

Б.2.1 Цель усиления

Повышение несущей способности подпорной стены путем изменения расчетной схемы и выполнения работ по усилению с открытой поверхности стены.

Б.2.2 Элементы усиления

Усиление выполняется путем наклейки элементов системы внешнего армирования (ленты, ламели или сетки) с требуемой по расчету площадью поперечного сечения. Рабочее направление волокон вертикальное.

Б.2.3 Конструктивные требования

Наклейка элементов усиления должна выполняться с разрывами с целью обеспечения миграции влаги в теле бетона, при этом площадь не покрытой усилением поверхности должна составлять не менее 10 %.

Данное требование установлено только для случая применения углеродных лент или ламелей. Допускается при соответствующем обосновании (расчет миграции влаги или при применении дренажных систем) полная оклейка поверхности.

При использовании в качестве элементов усиления (вертикальные несущие элементы) углеродных лент или ламелей необходимо выполнение горизонтальных анкерующих элементов, выполняемых из лент или при соответствующем обосновании ламелей. Шаг горизонтальных конструктивных элементов назначается не более $10b$ и не более 1500 мм (где b - ширина вертикального элемента усиления).

Стыковку элементов усиления выполнять внахлестку, длина нахлеста определяется расчетом, но не менее 200 мм. В одном расчетном сечении должно располагаться не более 25 % стыков элементов усиления, для элементов устанавливаемых конструктивно не более 50 %.

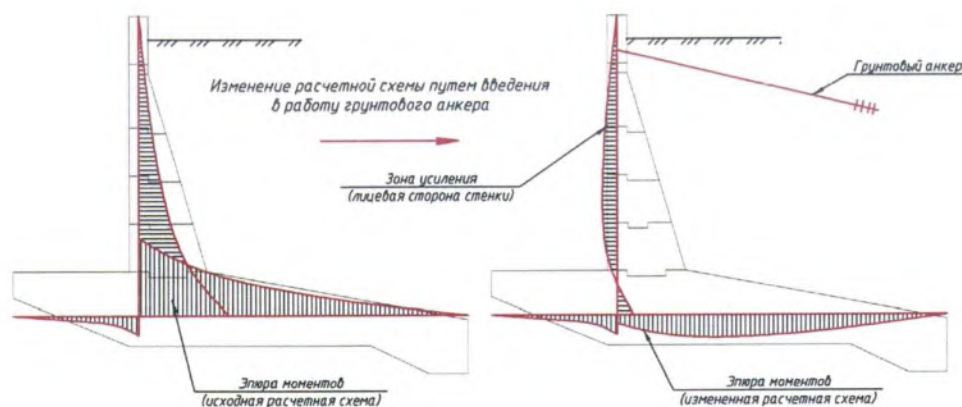
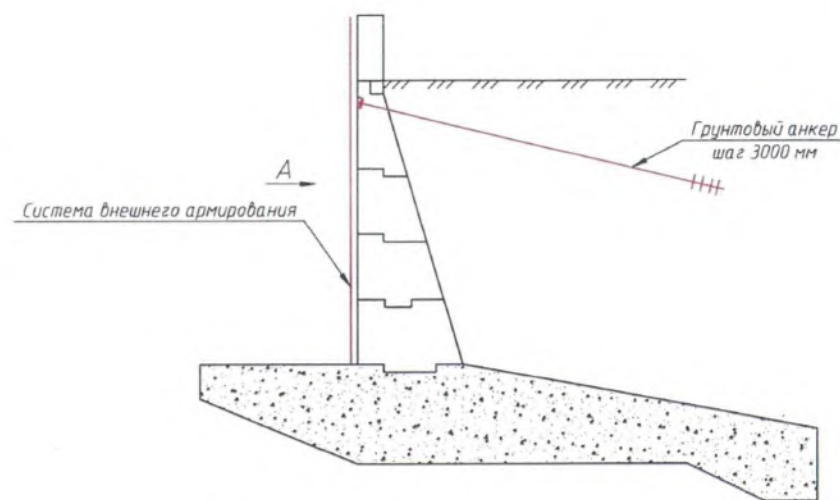


Рисунок Б.1 – Принципиальная схема усиления подпорной стенки



Вид А

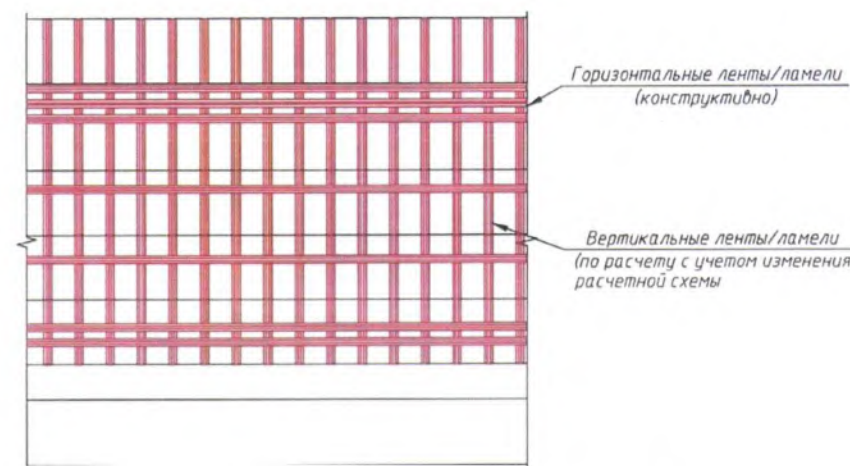


Рисунок Б.2 – Усиление подпорных стен

Б.3 Усиление стен каналов, лотков, камер шлюзов

Причины усиления.

- дефицит несущей способности при заполнении водой (некачественная обратная засыпка, ослабление/вымывание грунта обратной засыпки);
- разрушение бетона (в том числе бетона швов бетонирования) оголение и коррозия рабочей арматуры (со стороны канала).

Б.3.1 Опорожненная камера

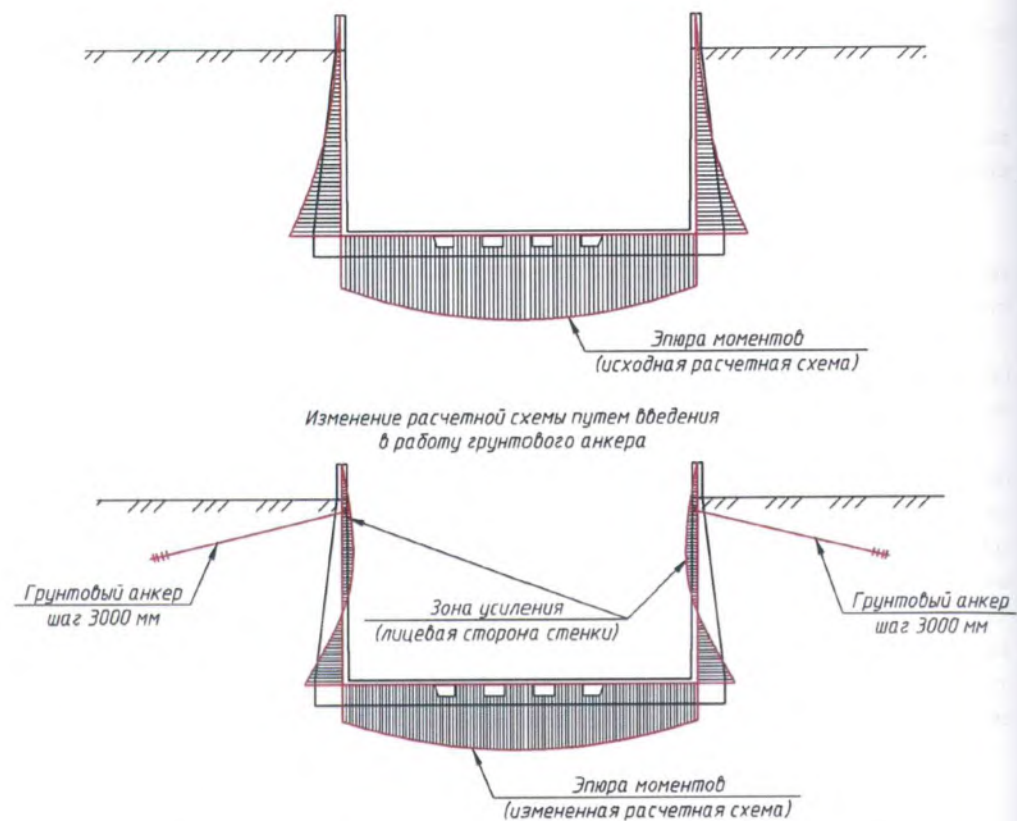


Рисунок Б.3 – Усиление стен камер шлюзов (каналов, лотков)

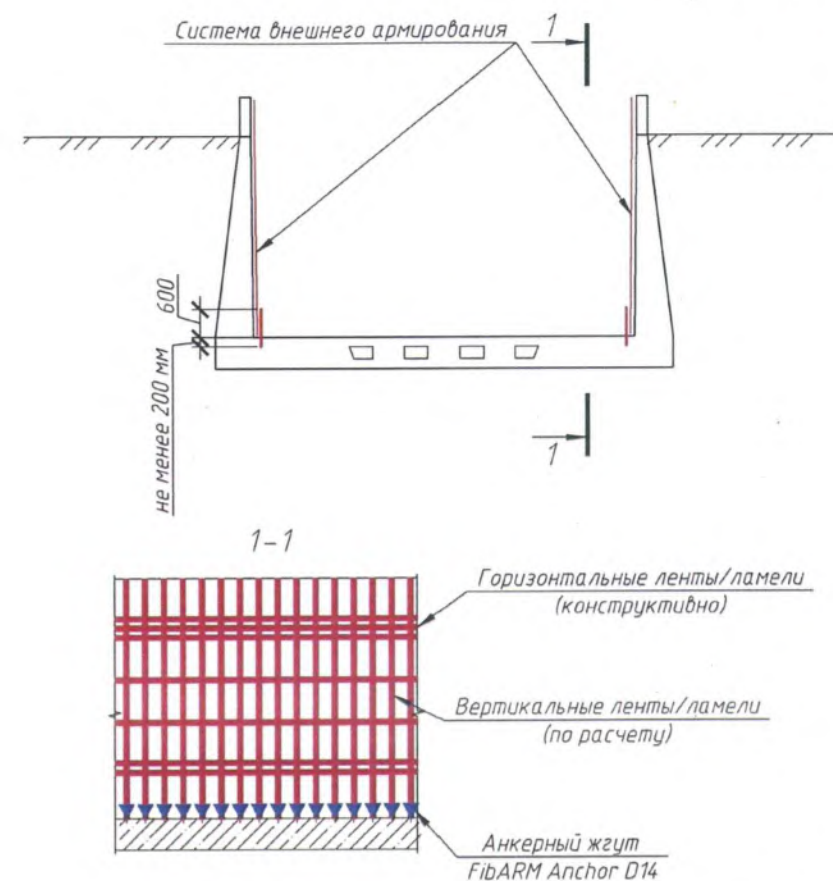


Рисунок Б.4 – Усиление стен камер шлюзов (каналов, лотков)

Б.3.2 Камера, заполненная водой

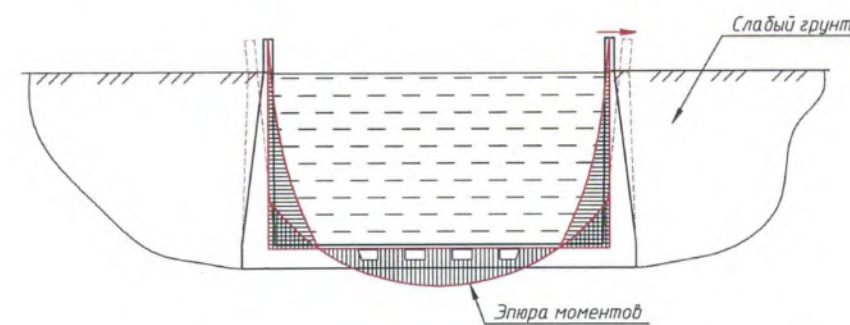


Рисунок Б.5 – Усиление стен камер шлюзов (каналов, лотков)

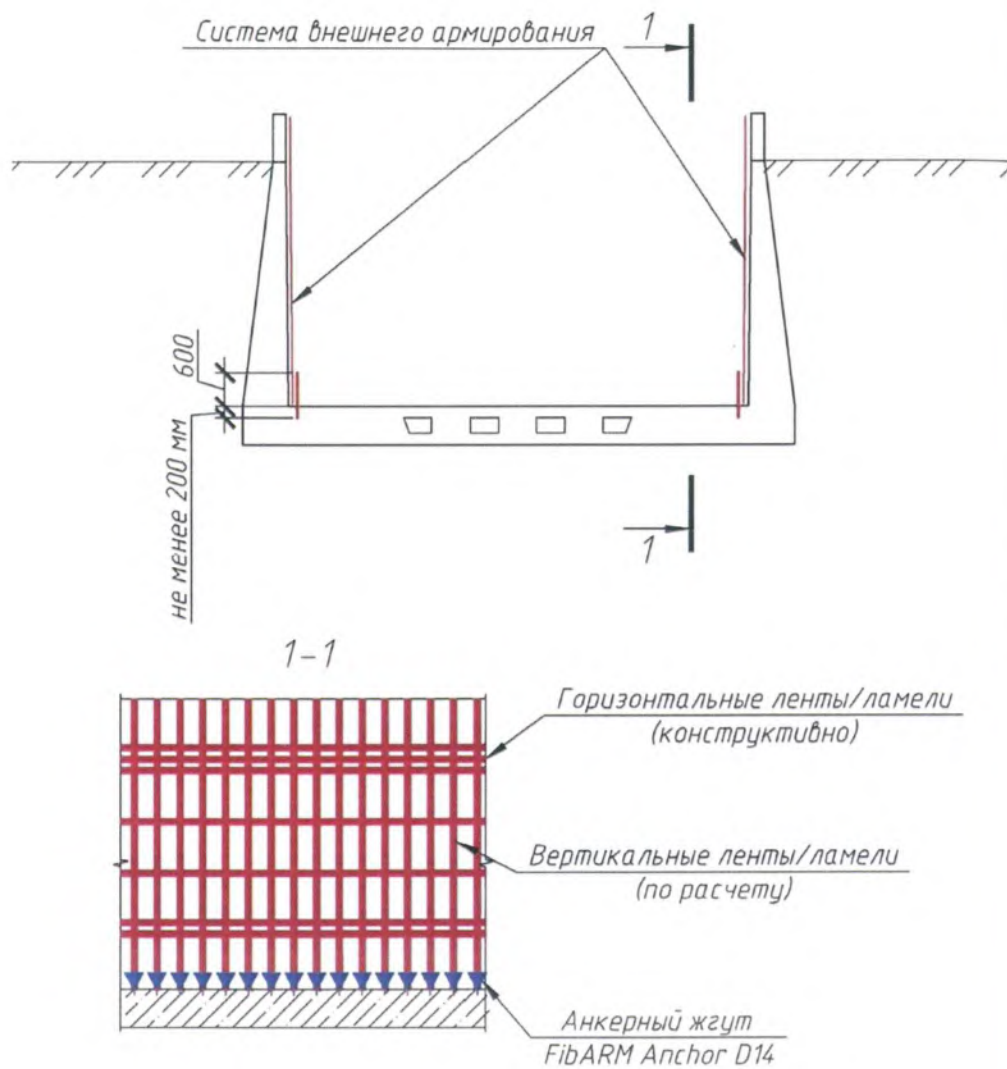


Рисунок Б.6 – Усиление стен камер шлюзов (каналов, лотков)

Б.4 Усиление подпорных стен с контрфорсом

Б.4.1 Усиление стены на основное сочетание нагрузок

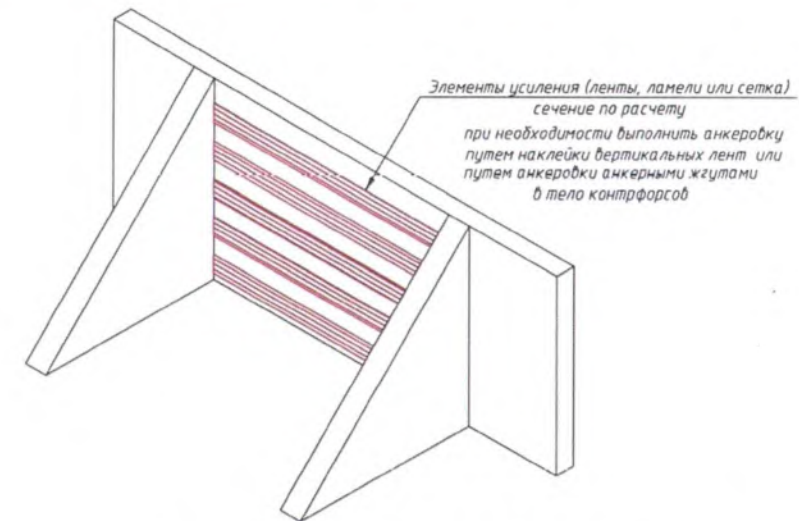


Рисунок Б.7.1 – Усиление стен между контрфорсами

Б.4.2 Усиление стены на особое сочетание нагрузок

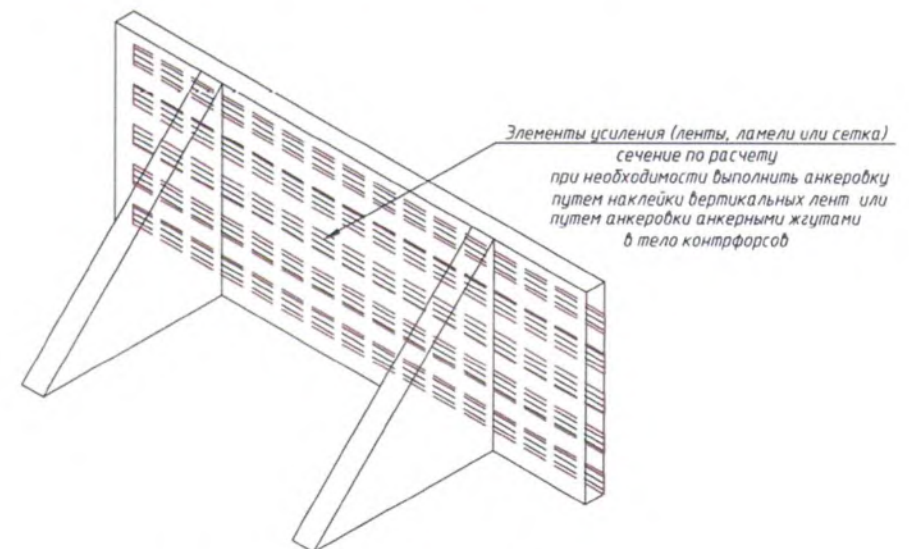


Рисунок Б.7.2 – Усиление стен между контрфорсами

Б.4.3 Схема усиления контрфорсов

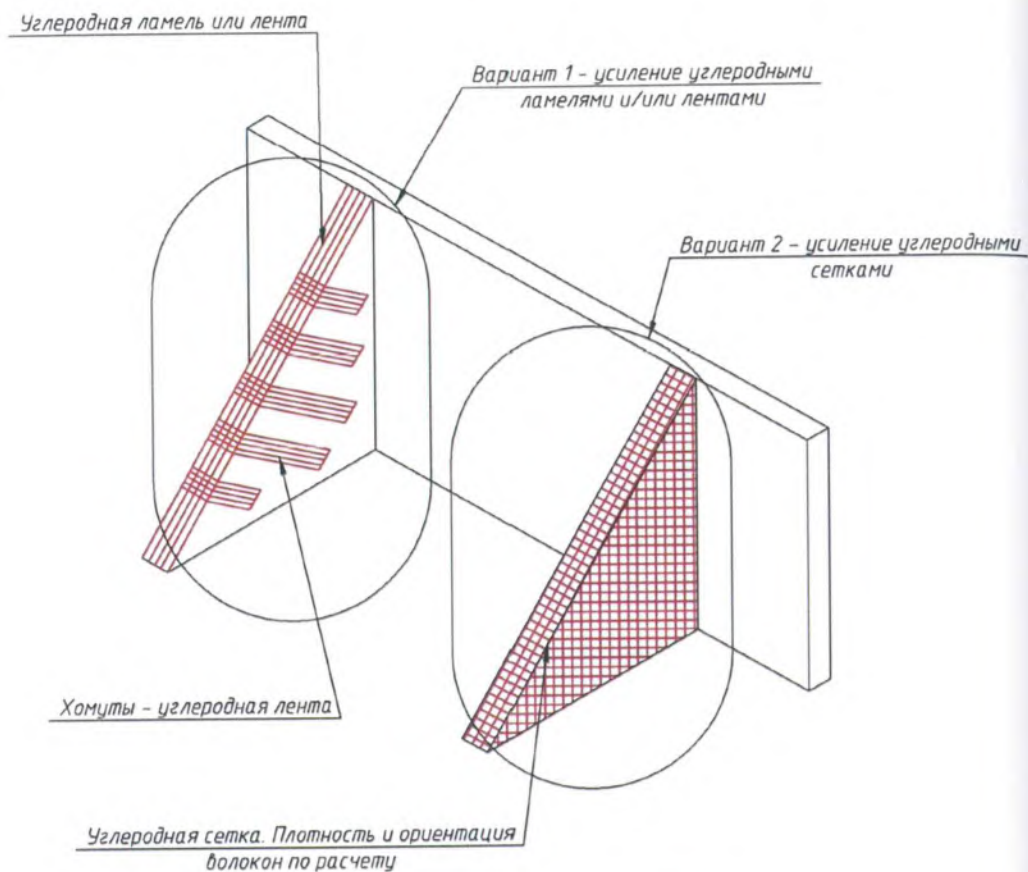


Рисунок Б.8 – Усиление контрфорсов

Б.5 Усиление напорных водоводов

Б.5.1 Причины усиления.

- увеличение нагрузки (напор, внешнее давление);
- ремонт/восстановление несущей способности после неравномерных осадок, разрушения бетона или коррозии рабочей арматуры.

Б.5.2 Усиление:

- дополнительное продольное и поперечное армирование (для зон растяжения).

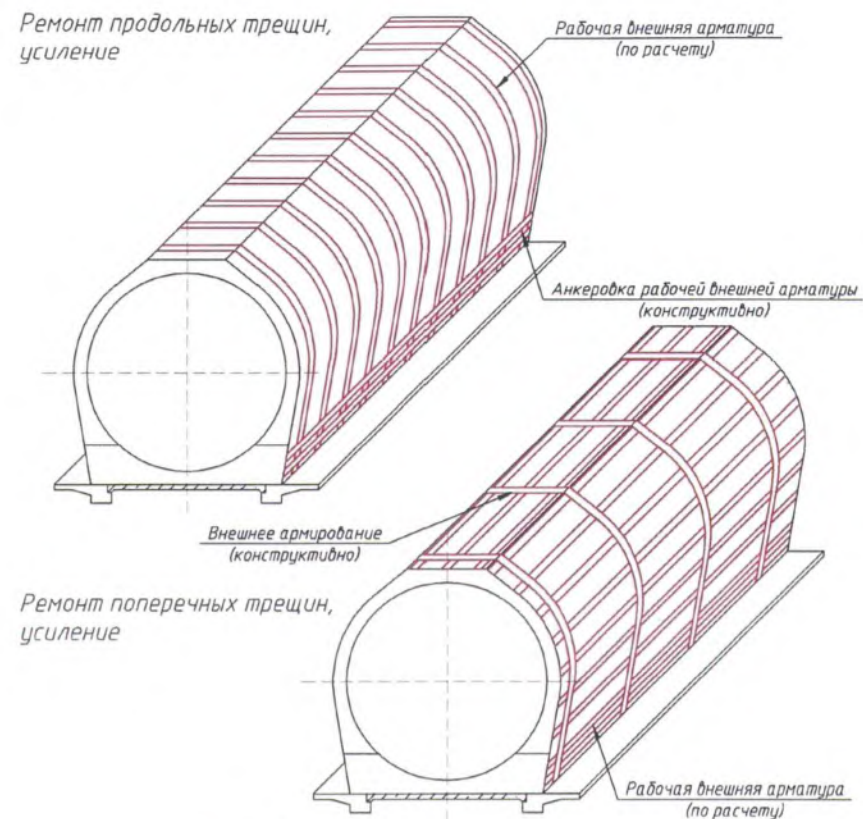


Рисунок Б.9 – Усиление водоводов

Б.5.3 В поперечном направлении

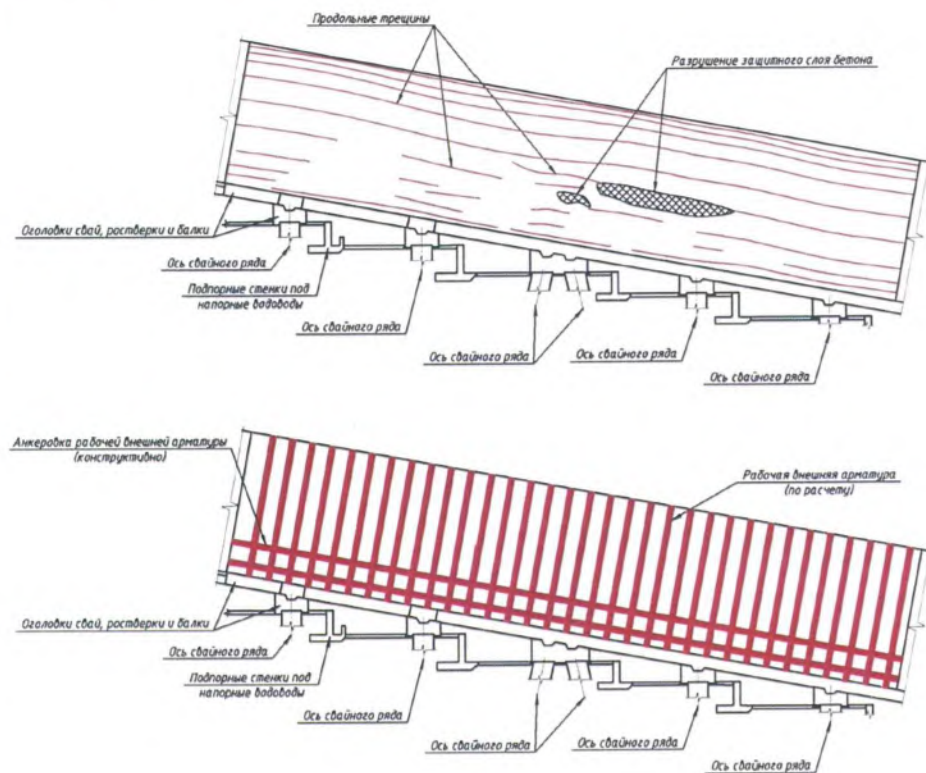


Рисунок Б.10 – Усиление водоводов в поперечном направлении

Б.5.4 В продольном направлении

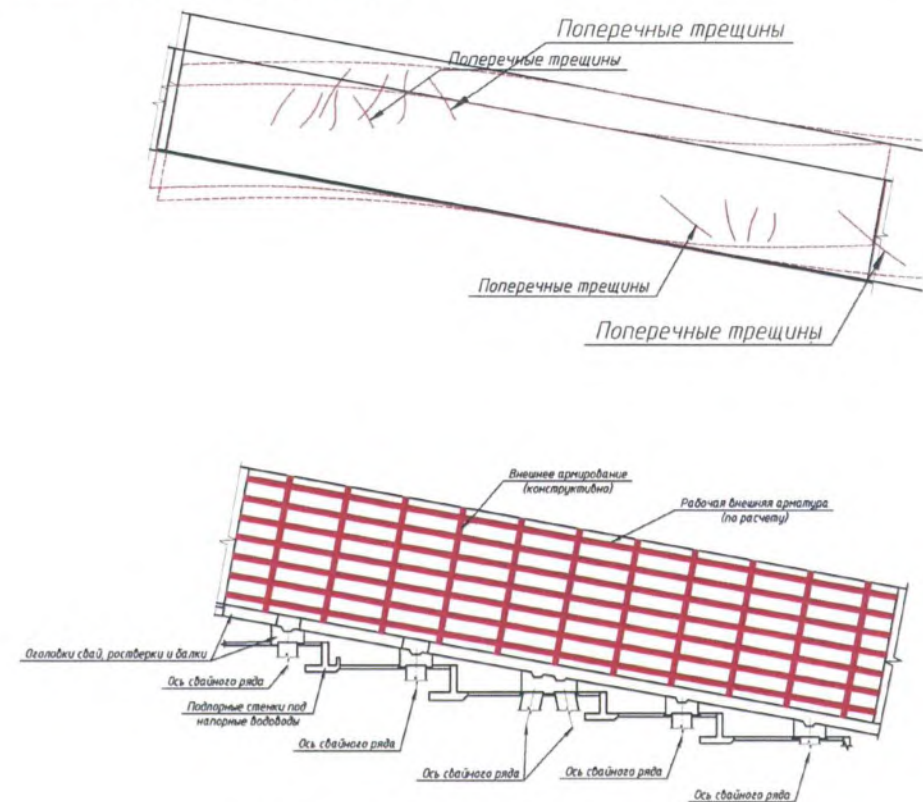


Рисунок Б.11 – Усиление водовода при деформациях

Б.5.5 Усиление в двух направлениях

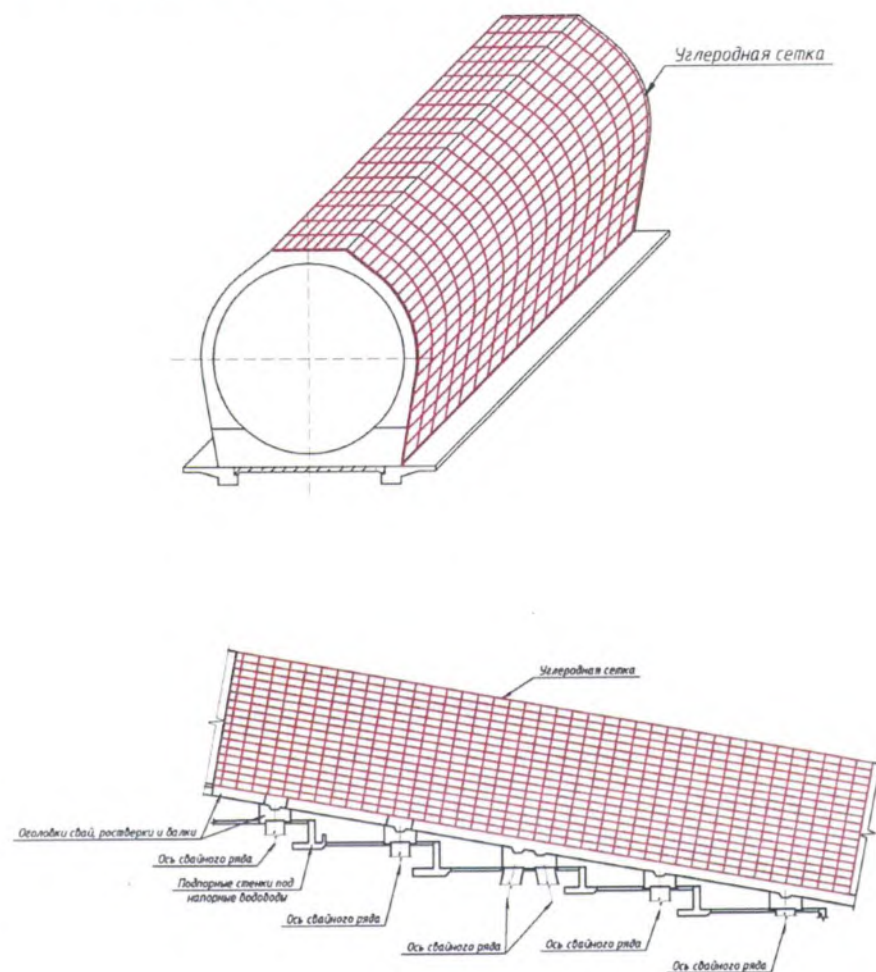


Рисунок Б.12 – Усиление водовода углеродными сетками

Б.6 Усиление напорной стены здания ГЭС

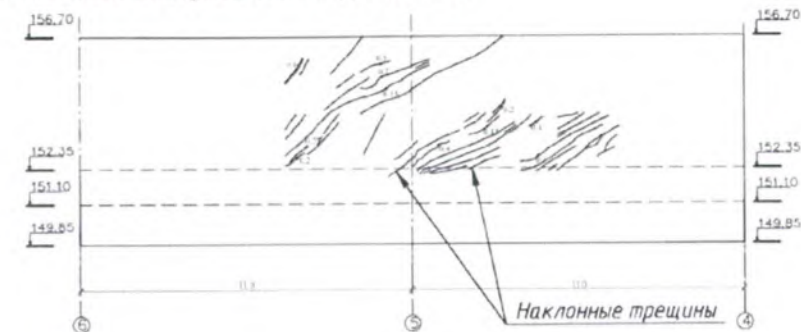


Схема усиления лентами

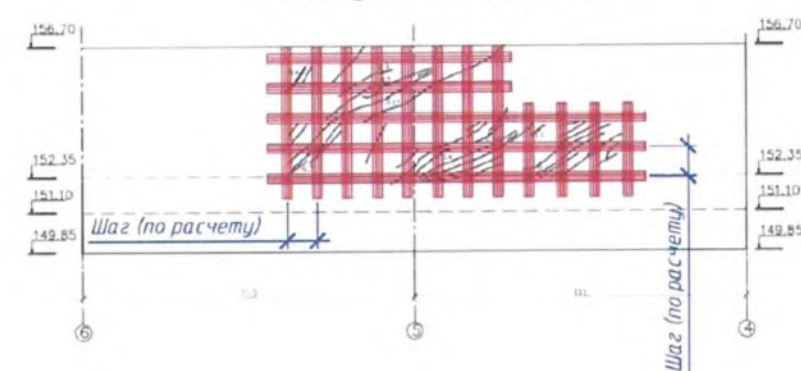


Схема усиления сетками

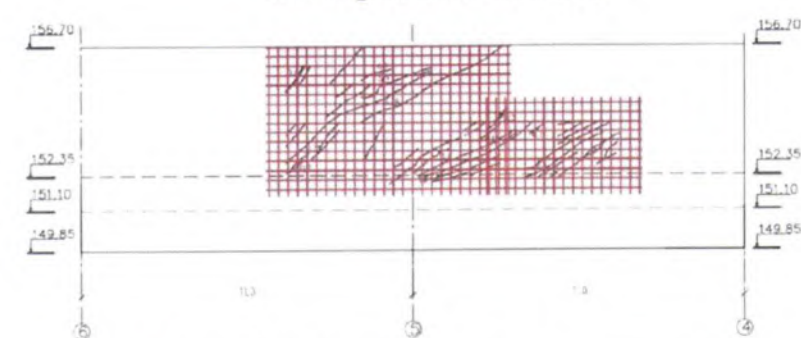


Рисунок Б.13 – Усиление напорной стены здания ГЭС

Б.7 Усиление перекрытия щитового отделения здания ГЭС

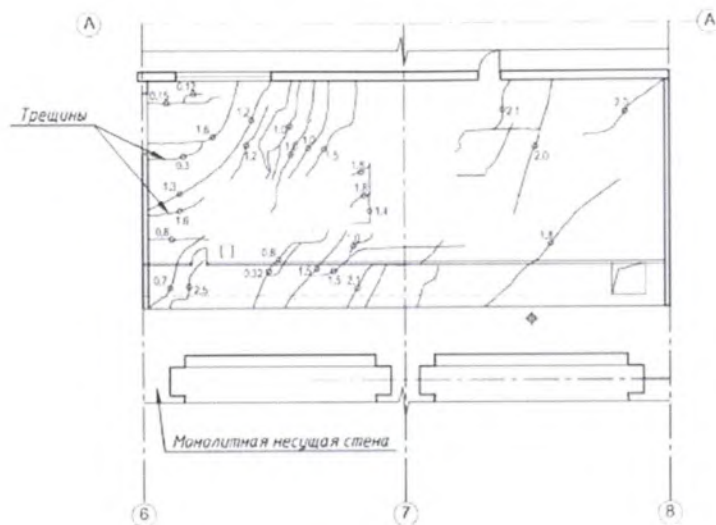


Схема усиления лентами

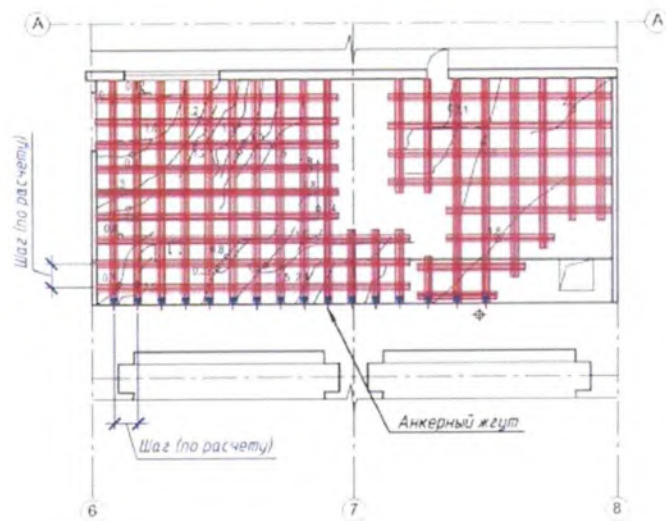


Рисунок Б.14 – Усиление перекрытия щитового отделения здания ГЭС

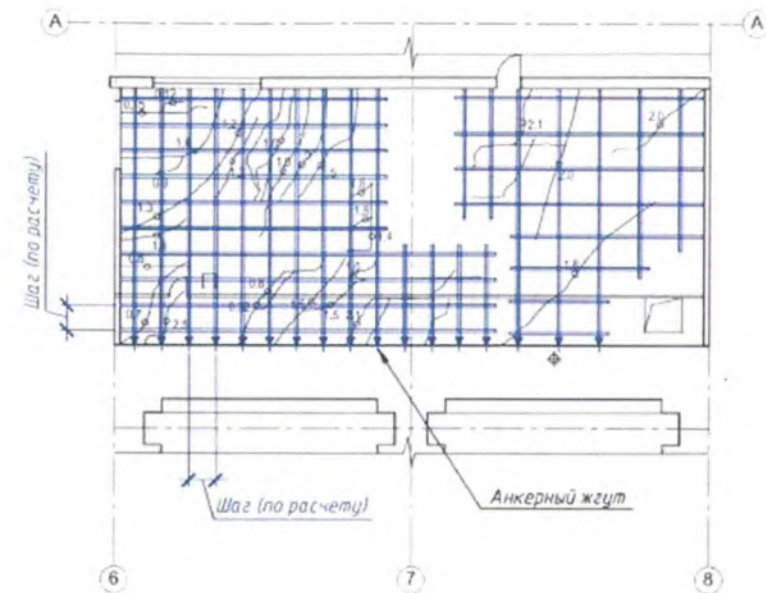


Схема усиления сетками

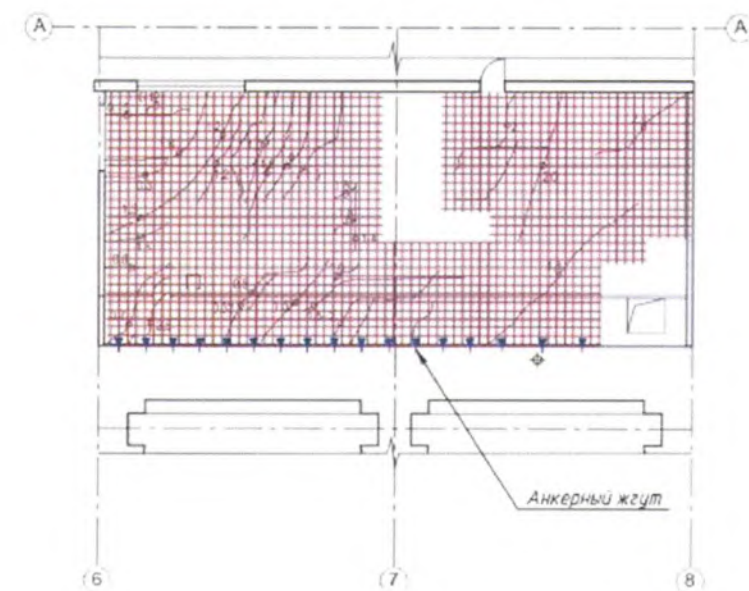


Рисунок Б.15 – Усиление перекрытия щитового отделения здания ГЭС

Б.8 Усиление перекрытия машинного зала здания ГЭС

Картина трещин



Схема усиления лентами

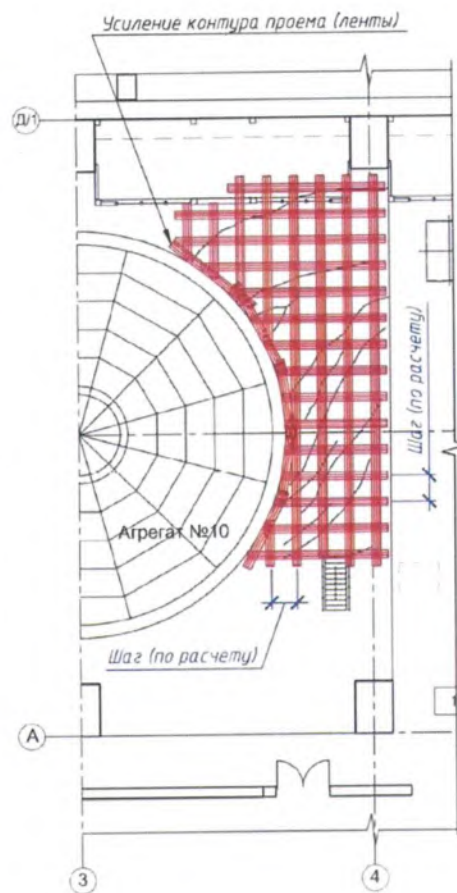


Рисунок Б.16 – Усиление перекрытия машинного зала здания ГЭС

Схема усиления ламелями

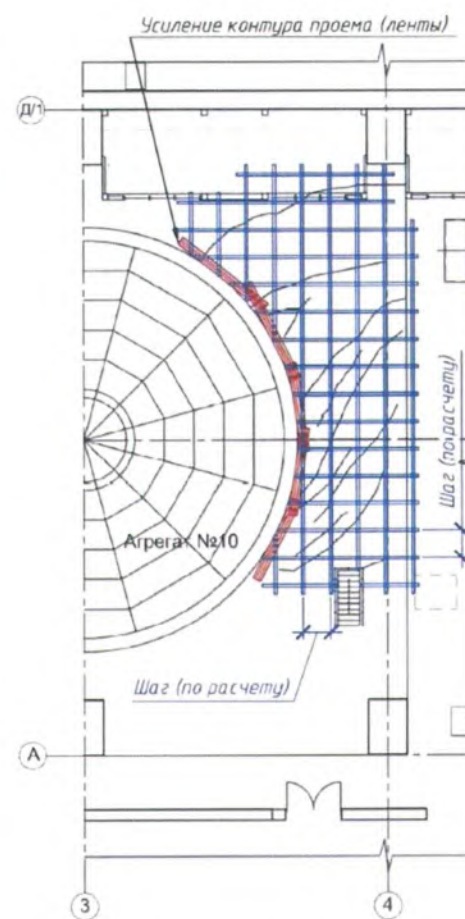


Схема усиления сетками

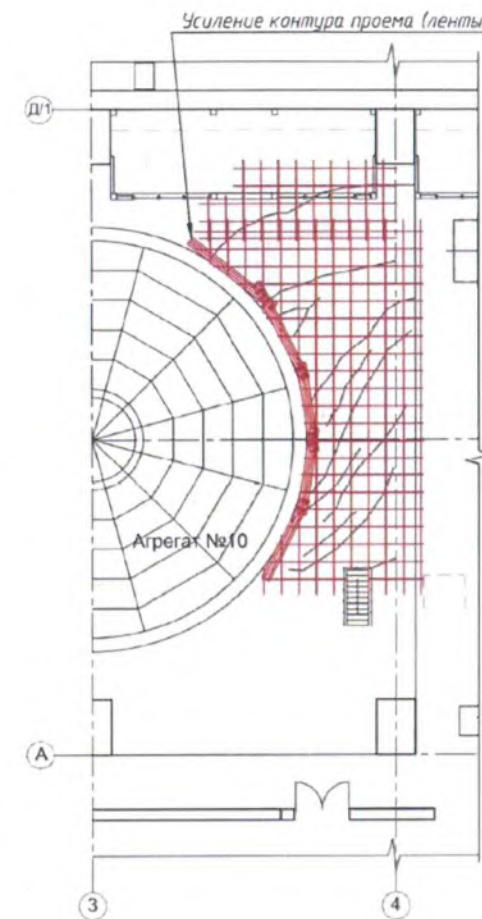


Рисунок Б.17 – Усиление перекрытия машинного зала здания ГЭС

Б.9 Усиление консолей

Б.9.1 Цель усиления: Повышение несущей способности и трещиностойкости опорной консоли.

Б.9.2 Усиление выполняется при недостаточной несущей способности по первой и/или второй группе предельных состояний нормальных и наклонных сечений.

Б.9.3 Усиление выполняется путем наклейки продольных, поперечных и наклонных элементов системы внешнего армирования (ленты) с требуемой по расчету площадью поперечного сечения.

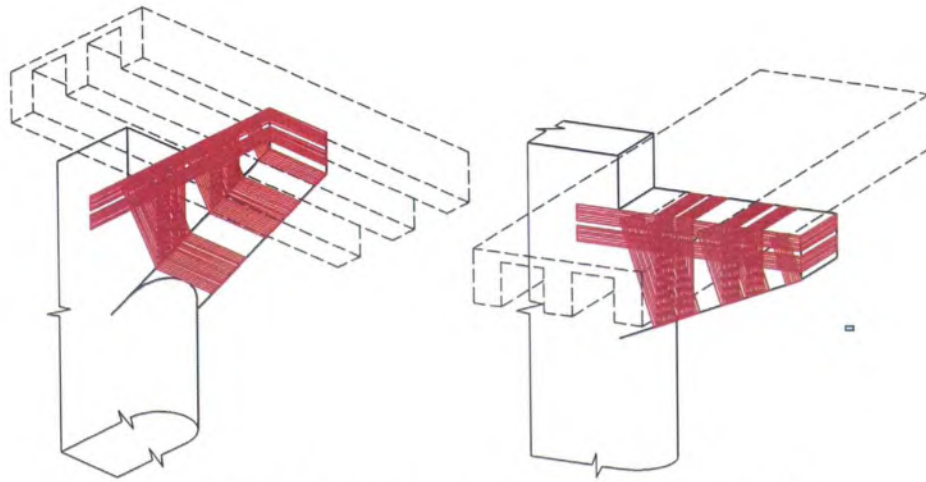


Рисунок Б.18 – Усиление консолей автодорожных мостов ГЭС

Б.10 Усиление колонн хомутами

Б.10.1 Показания к усилению:

- увеличение нагрузок;
- разрушение бетона, оголение арматуры;
- коррозия арматуры.

Б.10.2 Цель усиления: Повышение несущей способности колонны за счет создания эффекта обоймы (увеличение прочности бетона за счет создания объемного напряженно-деформированного состояния).

Б.10.3 Элементы усиления: Усиление выполняется путем наклейки поперечных элементов системы внешнего армирования (ленты) с требуемой по расчету площадью поперечного сечения.

Усиление путем устройства обоймы сжатых элементов рекомендуется производить при следующих условиях:

- расчетное значение эксцентриситета приложения сжимающей силы должно быть менее 0,10 (для круглых сечений диаметром D) или менее 0,1 (для прямоугольных сечений);
- соотношение сторон элементов прямоугольного сечения не должно превышать значение 1,5;
- размер стороны элементов прямоугольного сечения не должен превышать 900 мм;

- гибкость элементов не должна превышать значения 50.

Б.10.4 Конструктивные требования: Наклейка хомутов может быть сплошной и с разрывами (определяется расчетом).

Элементы усиления (хомуты) наклеиваются с нахлестом (Лан) не менее 0,5 наименьшей стороны колонны и не менее 300 мм.

При усилении конструкций, эксплуатируемых в условиях постоянной влажности (внутри помещения), допускается наклеивание лент, холстов, тканей или сеток по всей поверхности основания. При этом обоймы следует располагать не ближе 20 мм до перекрытия.

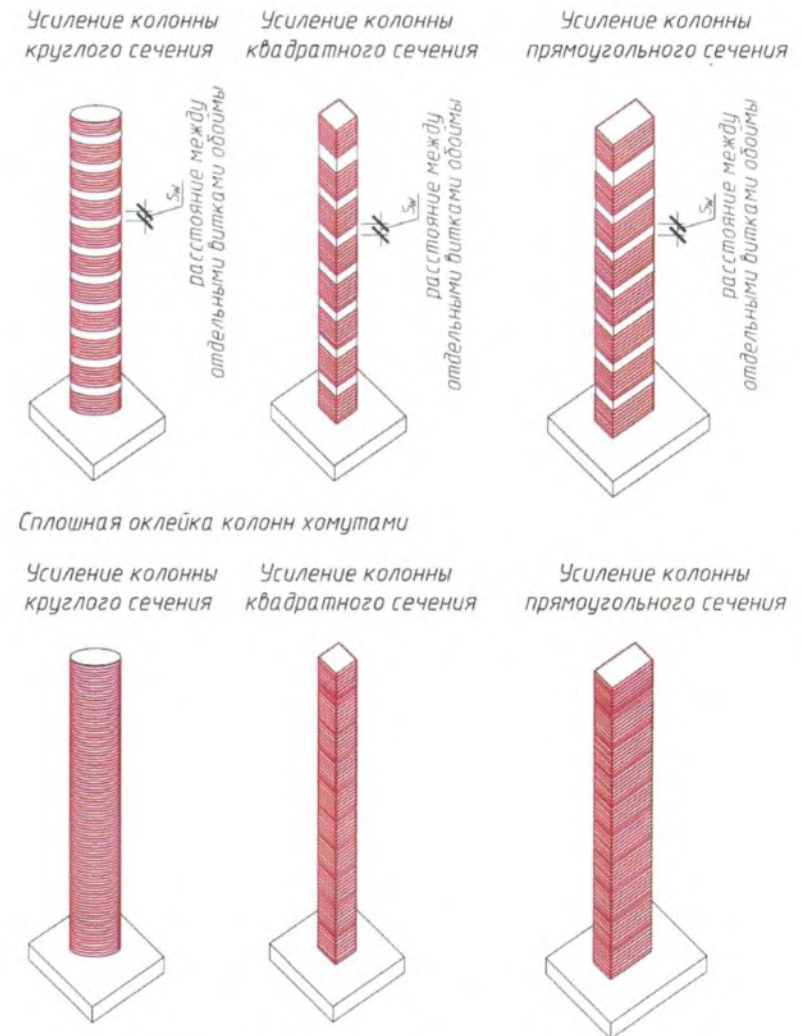


Рисунок Б.19 – Усиление колонн хомутами

Б.11 Усиление монолитных стен

Б.11.1 Показания к усилению:

- увеличение нагрузок;
- разрушение бетона, оголение арматуры, образование трещин (расхождение швов бетонирования);
- коррозия арматуры.

Б.11.2 Цель усиления: Повышение или восстановление несущей способности, ремонт разрушенных зон.

Б.11.3 Элементы усиления: Усиление может выполняться лентами, ламелями и углеродными сетками.

Б.11.4 Конструктивные требования: При применении в качестве элементов усиления углеродных лент и ламелей в обязательном порядке устраиваются поперечные анкерочные элементы (преимущественно ленты).

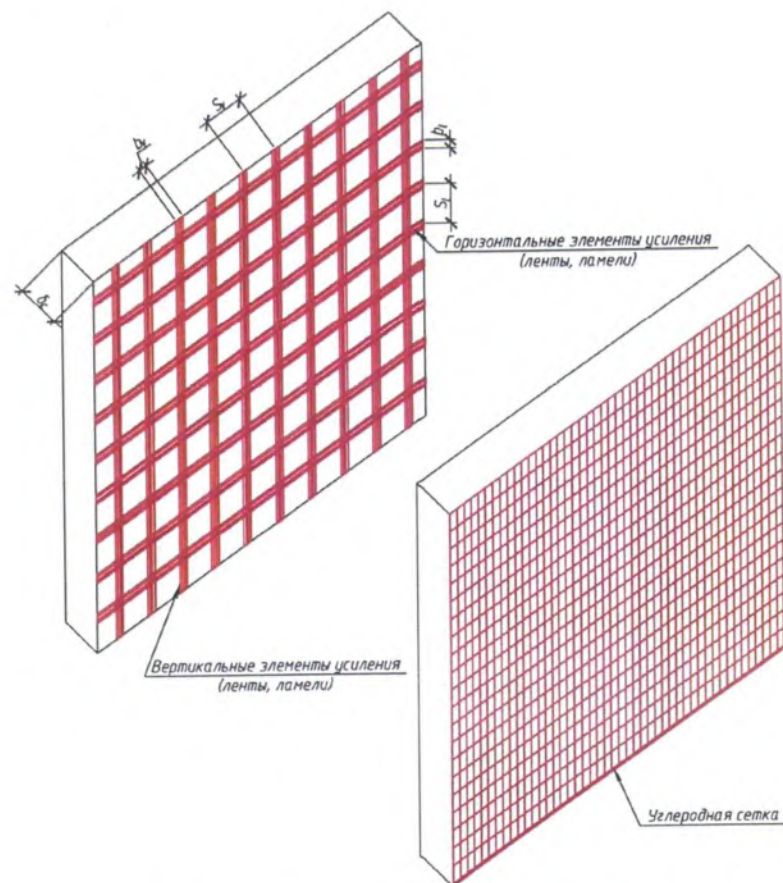


Рисунок Б.20 – Усиление монолитных стен

Б.12 Усиление зон с трещинами (швами бетонирования)

Б.12.1 Цель усиления: Усиление зон в области швов бетонирования.

Б.12.2 Элементы усиления: Углеродные ленты, ламели и сетки.

Б.12.3 Конструктивные требования: В случае применения углеродных лент или ламелей в обязательном порядке схема наклейки в виде сетки, при этом в нерабочем направлении общее сечение композита принимается не менее 0,5 от расчетного.

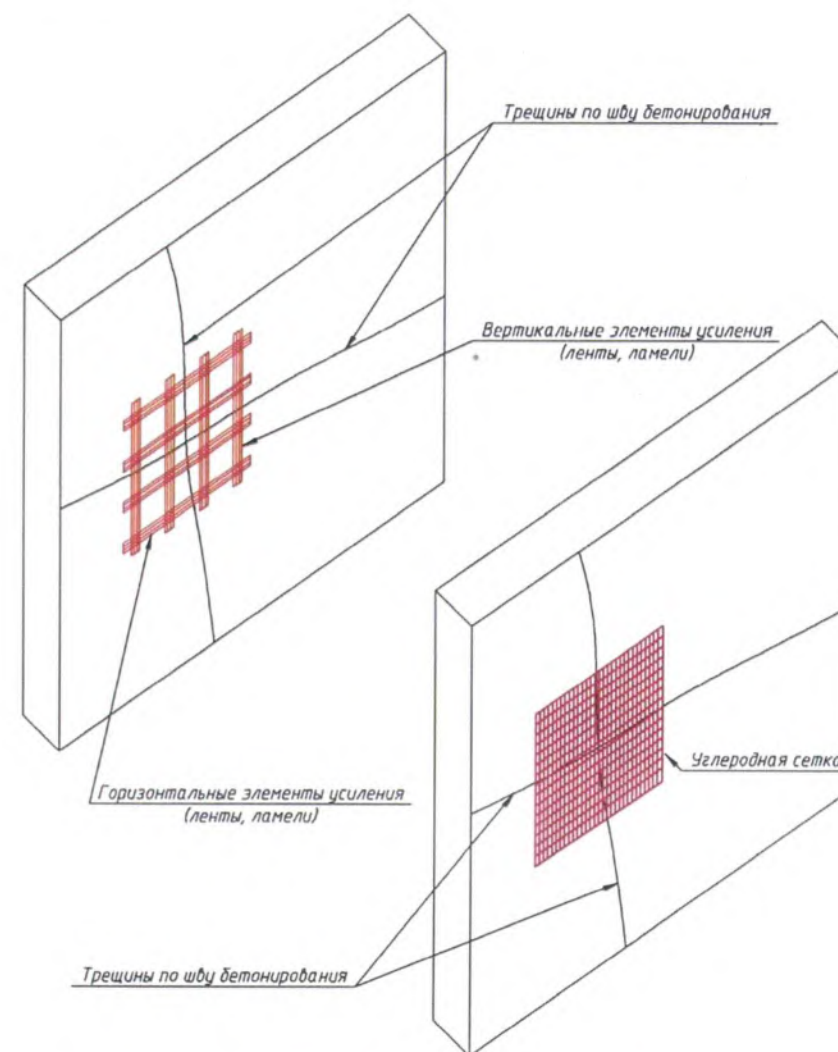


Рисунок Б.21 – Усиление зон с трещинами (швами бетонирования)

Б.13 Усиление Т-образных узлов сопряжения стен

Б.13.1 Цель усиления: усиление Т-образных узлов сопряжения стен.

Б.13.2 Элементы усиления: В качестве элементов усиления применяются углеродные ленты и жгуты.

Б.13.3 Конструктивные требования: Шаг элементов усиления по вертикали принимается не более двух толщин стены (если толщины разные, то принимается по минимальной) и не более 900 мм.

Длина анкеровки углеродных лент подбирается по расчету.

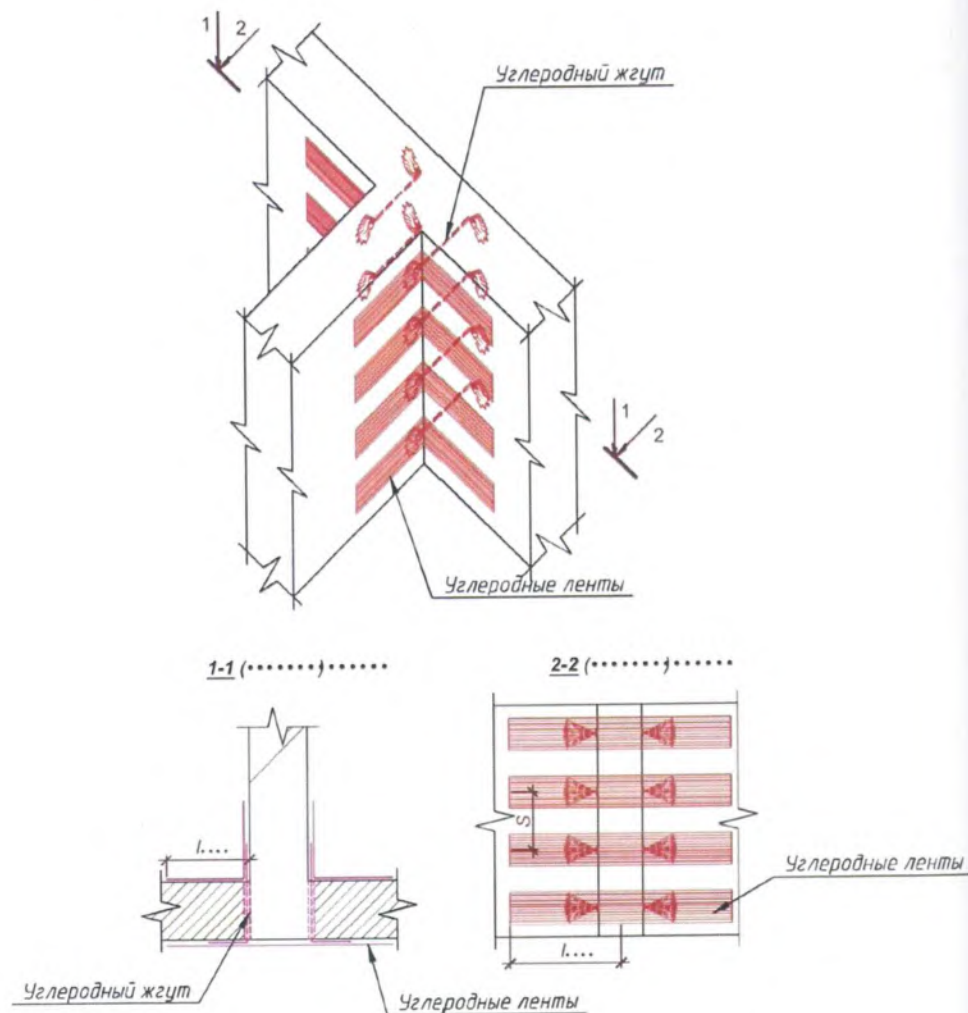


Рисунок Б.22 – Усиление Т-образных узлов сопряжения стен

Б.14 Усиление нормальных сечений ригеля

Б.14.1 Причины усиления:

- увеличение нагрузок;
- разрушение бетона, оголение арматуры;
- коррозия арматуры.

Б.14.2 Цель усиления: Повышение несущей способности ригеля.

Усиление выполняется при недостаточной несущей способности по первой и/или второй группе предельных состояний нормальных сечений ригеля.

Б.14.3 Элементы усиления: Усиление выполняется путем наклейки на нижнюю поверхность ригеля продольных элементов системы внешнего армирования (ленты или ламели) с требуемой по расчету площадью поперечного сечения.

Б.14.4 Конструктивные требования: Элементы усиления (продольные ленты или ламели) дополнительно анкеруются к поверхности плиты при помощи П-образных хомутов, устанавливаемых конструктивно с шагом не более $4b$, не более h и не менее 3 штук на ригель.

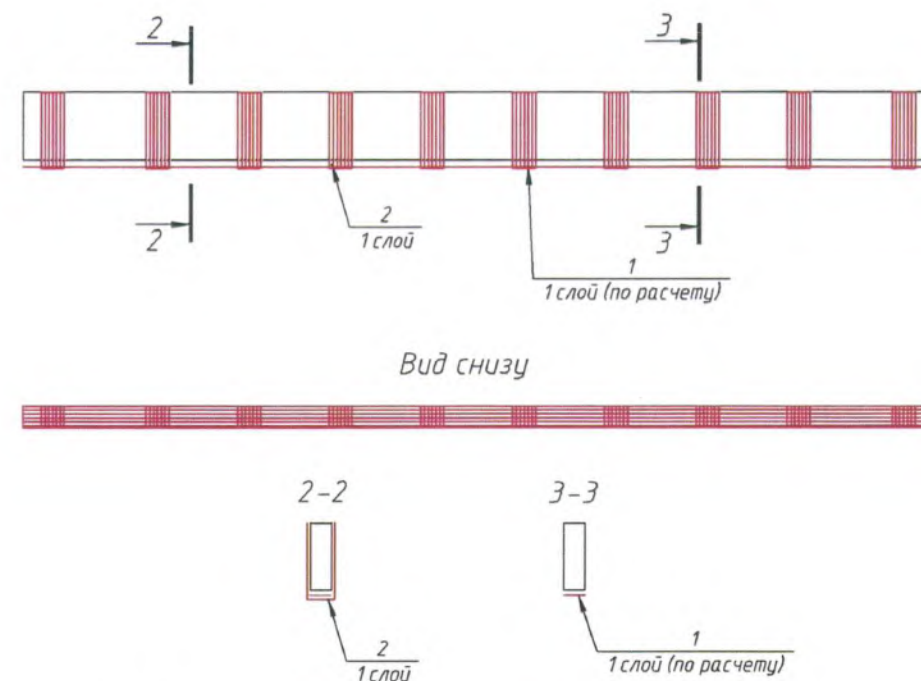


Рисунок Б.23 – Усиление нормальных сечений ригеля

Т а б л и ц а Б.1 – Спецификация элементов

Обозначение	Наименование	Кол.	Площадь, ед, м ²	Площадь, поз., м ²
1	Fib ARM Tape -530/300, L=8550мм B=300 мм	1	2.56	2.56
2	Fib ARM Tape -530/300, L=2060мм b=300 мм	10	0.62	6.18
Итого:				8.74

Б.15 Усиление наклонных сечений (действие поперечной силы)

Б.15.1 Цель усиления: Повышение несущей способности ригеля.

Усиление выполняется при недостаточной несущей способности по первой и/или второй группе предельных состояний наклонных сечений ригеля.

Б.15.2 Элементы усиления: Усиление выполняется путем устройства хомутов (общее обертывание, П-образные хомуты или наклеивание с 2-х сторон) из углеродных лент с требуемой по расчету площадью поперечного сечения. Наклейка элементов усиления возможна как перпендикулярно оси ригеля, так и под углом.

Б.15.3 Конструктивные требования: В качестве элементов усиления применяются углеродные ленты.

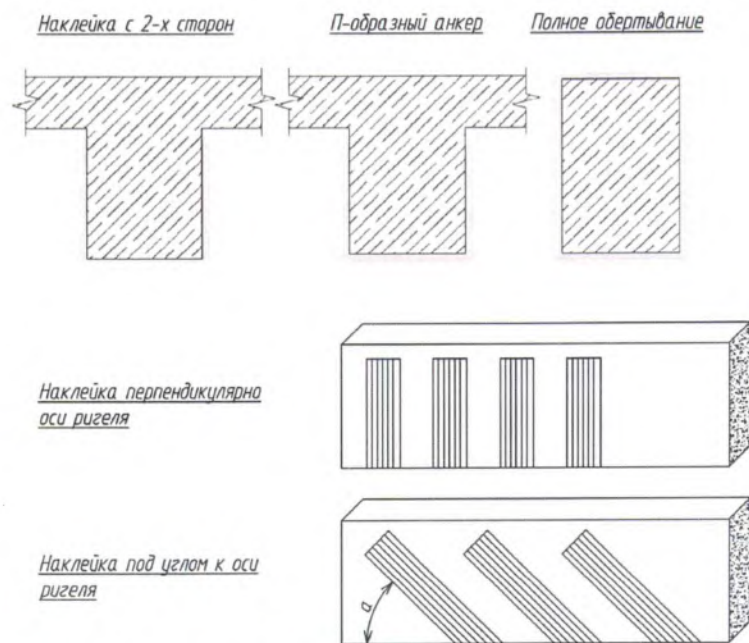


Рисунок Б.24 – Усиление наклонных сечений (действие поперечной силы)

Б.16 Усиление нормальных (пролётных) сечений монолитных балок

Б.16.1 Цель усиления: Повышение несущей способности ригеля.

Усиление выполняется при недостаточной несущей способности по первой и/или второй группе предельных состояний нормальных сечений пролетной зоны ригеля.

Б.16.2 Элементы усиления: Усиление выполняется путем наклейки на нижнюю поверхность ригеля продольных элементов системы внешнего армирования (ленты или ламели) с требуемой по расчету площадью поперечного сечения. Элементы усиления заводятся за зону нулевого момента (l_{mo} - расстояние до зоны нулевого момента). Также усиление может осуществляться углеродными лентами, при этом поперечные волокна выполняют функции анкерочных хомутов.

Б.16.3 Конструктивные требования: Элементы усиления (продольные ленты или ламели) дополнительно анкеруются к поверхности плиты при помощи П-образных хомутов, устанавливаемых конструктивно с шагом не более 1500 мм и не менее 3 штук на ригель. Хомуты заводятся на вертикальную поверхность на величину не менее $2b$ и не менее 500 мм (где b - ширина ленты).

При усилении углеродными сетками необходимо заводить сетку на вертикальную грань на высоту не менее 600 мм.

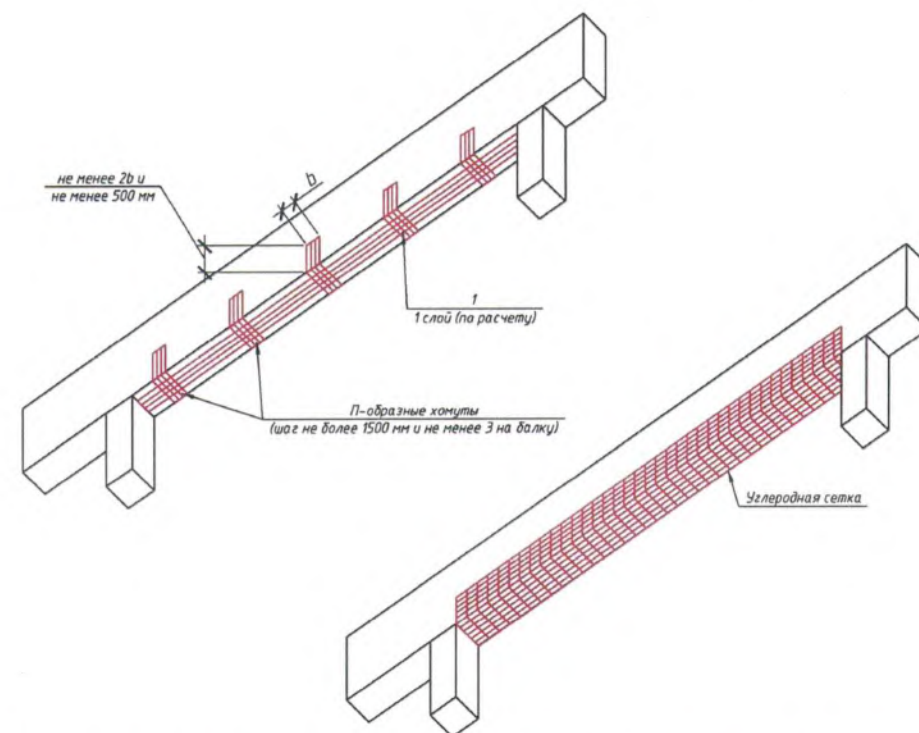


Рисунок Б.25 – Усиление нормальных (пролётных) сечений монолитных балок

Б.17 Усиление монолитных ребристых плит

Б.17.1 Цель усиления: Повышение несущей способности плиты.

Усиление выполняется при недостаточной несущей способности по первой и/или второй группе предельных состояний нормальных сечений плиты.

Усиление возможно выполнять как по нижней плоскости плиты (пролетная зона), так и по верхней (опорная зона).

Б.17.2 Элементы усиления: В качестве элементов усиления применяются углеродные ленты или ламели с требуемым расчетным сечением.

Наклейка элементов производится на зонах растяжения плит, усиление производится за счет увеличения растянутой арматуры.

Допускается локальное усиление монолитных плит, при этом расчетные элементы заводятся за зону момента образования трещин на величину зоны анкеровки (определяется расчетом).

Б.17.3 Конструктивные требования: Максимальное расстояние в свету между элементами усиления внешнего продольного армирования изгибаемого элемента следует принимать не более меньшего значения из: $0,2L$; $3h$; $3b$, где L – пролет изгибаемого элемента или удвоенный вылет консоли, h – высота сечения изгибаемого элемента, b – ширина элемента усиления (лента или ламель).

При устройстве расчетной внешней арматуры только в одном направлении, необходимо выполнять анкеровку при помощи углеродных лент. Шаг анкеров не более 900 мм и не менее двух штук на элемент усиления. При установке расчетной внешней арматуры в двух направлениях рекомендуется в качестве элементов усиления применять ленты и ламели, или только ленты (наклейка ламелей в виде сетки не рекомендуется).

Б.17.4 Особенности усиления монолитных ребристых плит: Возможно усиление только ребер или плоскости плиты.

При усилении одних ребер выполняются хомуты с шагом не более 900 мм и не менее четырёх штук на ребро. При необходимости (на основании расчета) выполняется усиление опорной зоны сверху.

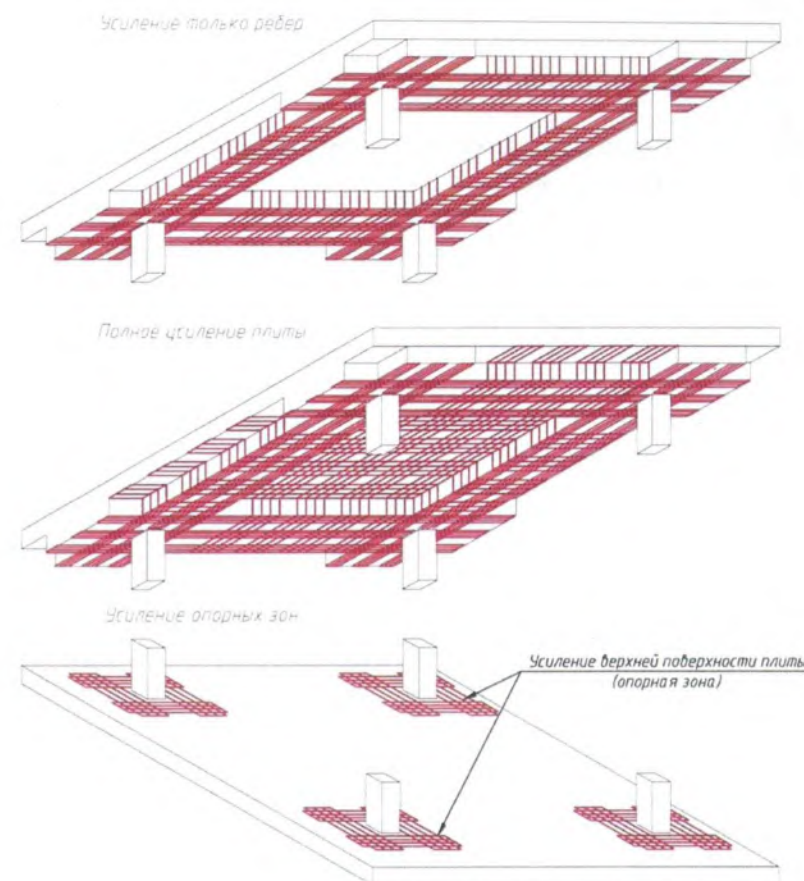


Рисунок Б.26 – Усиление монолитных ребристых плит

Приложение В (обязательное)

Технологии ремонта поврежденного бетона

В.1 Ремонт участков с поверхностными дефектами бетона глубиной от 1 до 5 см и площадью до 1 м² без обнажения арматуры.

Ремонтные работы следует проводить при минимальной суточной температуре наружного воздуха не ниже +5°C, температура на поверхности основания, подготавливаемого для укладки раствора, не ниже +5°C.

В.1.1 Подготовительные работы.

На ремонтируемом участке с помощью алмазной фрезы и перфоратора производится его расчистка. Для этого с помощью алмазной фрезы участок оконтуривается, глубина надреза 20-30 мм, см. рисунок В.1, поз. 1, а затем с помощью перфоратора производится расчистка участка, см. рисунок В.1, поз. 2.

Расчищенный участок очищается от пыли и остатков бетонной крошки с помощью волосяных щеток и промывается водой под давлением, см. рисунок В.1, поз. 3.

В.1.2 Приготовление ремонтных составов.

ЦМИД-1К - адгезионная обмазка.

Состав гидроизоляционного раствора (по весу) - 180-200 мл воды на 1 кг сухой смеси.

Раствор готовят путём добавления сухого порошка ЦМИД-1К в отмеренное количество воды. Смесь перемешивается в течение 2-3 минут. Состав оставляется на 3-5 минут, для растворения добавок, и снова перемешивается 2-3 минуты. Перемешивание можно производить вручную, миксером на низких оборотах (мощностью не более 900Вт) или в растворосмесителе. Приготовленный раствор необходимо использовать в течение 30-45 минут. При этом его необходимо периодически перемешивать.

Расход ЦМИД-1К - 1,8 кг/м² при толщине слоя 1,0 мм.

ЦМИД-3 - ремонтный раствор.

Ремонтный состав приготавливается перемешиванием в растворосмесителе принудительного действия сухой смеси ЦМИД-3 с водой в течение 3-5 минут до получения однородной массы требуемой консистенции. Пластичность раствора ЦМИД-3 сопоставима с пластичностью штукатурного раствора.

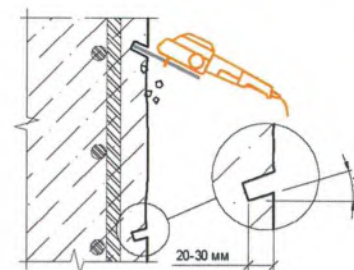
Приготовленный раствор необходимо использовать в течение 30-40 минут. При этом его необходимо периодически перемешивать.

В.1.3 Заполнение ремонтным составом подготовленных полостей.

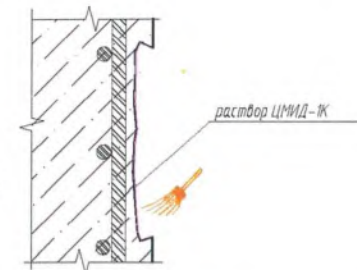
Перед укладкой ремонтного состава старый бетон ремонтируемой полости должен быть насыщен водой, а поверхность смочена, при этом избыточная вода должна быть удалена. На поверхность контакта наносится подготовительный (праймерный) слой на основе ЦМИД-1К, см. рисунок В.1, поз. 4.

Не позднее 10-15 минут после обработки адгезионной суспензией дефектный участок заполняется ремонтным раствором ЦМИД-3 с уплотнением (кельмой, мастерком), см. рисунок В.1, поз. 5.

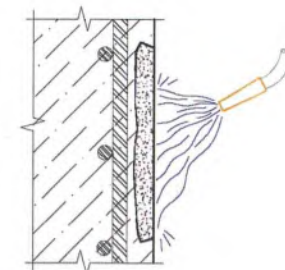
Поз. 1. Оконтуривание дефектного участка



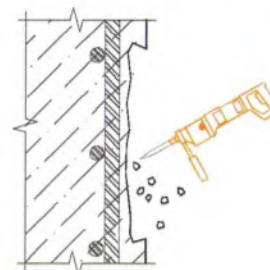
Поз. 4. Нанесение адгезионного (праймерного) слоя (ЦМИД-1К)



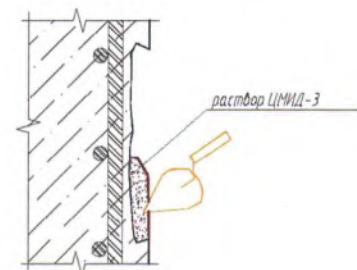
Поз. 7. Увлажнение уложенного ремонтного состава



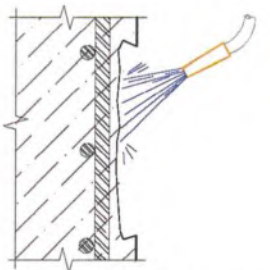
Поз. 2. Удаление отслоившихся частиц бетона



Поз. 5. Заполнение полости в один слой композицией "ЦМИД-3" на глубину до 30 мм и площадью до 1 м²



Поз. 3. Гидроструйная очистка бетонной поверхности



Поз. 6. Заполнение полости в три слоя композицией "ЦМИД-3" на глубину до 100 мм и площадью до 1 м²

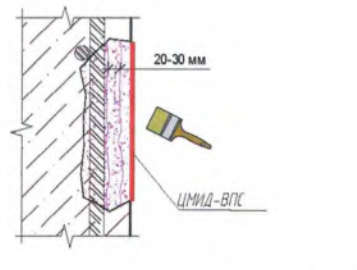


Рисунок В.1 – Ремонт участков с поверхностными дефектами бетона глубиной от 1 до 5 см и площадью до 1 м² без обнажения арматуры.

При глубине ремонтируемой полости более 30 мм, нанесение ремонтного состава ЦМИД-3 производится слоями толщиной до 30 мм. Следующий слой наносится через 3-4 часа после укладки предыдущего слоя. Перед укладкой нового слоя ЦМИД-3 поверхность ранее уложенного бетона обрабатывается адгезионной обмазкой ЦМИД-1К, см. рисунок В.1, поз. 6.

В.1.4 Уход за уложенным ремонтным раствором.

После затвердевания ремонтного состава ЦМИД-3 и набора им необходимой прочности (примерно через 3-5 часов) ремонтные поверхности следует регулярно смачивать распыленной струей воды, не допуская размыва поверхности, или укрывают влажными тканевыми материалами, см. рисунок В.1, поз. 7. Тепловлажностный уход ведется в течение 2-3 суток, а при температуре воздуха выше +20°C уход осуществляется 7 суток. Не допускается полное высыхание ремонтного состава в течение первых двух суток твердения.

В.2 Ремонт участков с поверхностными дефектами бетона глубиной от 1 до 5 см и площадью до 1 м² с обнажением арматуры.

Ремонтные работы следует проводить при минимальной суточной температуре наружного воздуха не ниже +5°C, температура на поверхности основания, подготавливаемого для укладки раствора, не ниже +5°C.

В.2.1 Подготовительные работы.

На ремонтируемом участке с помощью алмазной фрезы и перфоратора производится его расчистка. Для этого с помощью алмазной фрезы участок оконтуривается, глубина надреза 20 мм, см. рисунок В.2, поз. 1. Затем с помощью перфоратора производится расчистка участка, см. рисунок В.2, поз. 2.

Для надёжного омоноличивания обнажённых стержней арматуры расстояние между их продольной гранью и старым бетоном должно быть не менее 1,0 см. Арматурные стержни очищаются от ржавчины проволочными щётками механическим или ручным способами, см. рисунок В.2, поз. 3.

Расчищенный участок очищается от пыли и остатков бетонной крошки с помощью волосяных щеток и промывается водой под давлением, см. рисунок В.2, поз. 4.

Для восстановления геометрии на вертикальных поверхностях устанавливается опалубка, см. рисунок В.2, поз. 5.

Опалубка должна отвечать следующим требованиям:

- иметь необходимую прочность, жесткость и неизменяемость под воздействием технологических нагрузок и малую адгезию с бетоном;
- обеспечивать заданную точность размеров конструкций, конструкция опалубки должна обеспечивать возможность ее быстрой установки и разборки без повреждения бетона;

Установка и демонтаж опалубки должна выполняться по проекту производства работ. Точность изготовления и установка опалубки должна соответствовать требованиям СНиП 3.03.01-87.

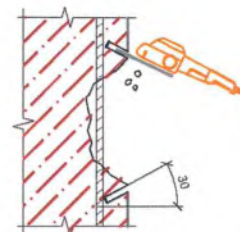
Для подачи бетонной смеси в заопалубочное пространство, в опалубке должны быть предусмотрены специальные окна (количество окон в опалубке устанавливаются в зависимости от величины дефекта), которые располагаются в верхней части опалубочных листов, шаг окон 1,5 м.

В.2.2 Приготовление ремонтного бетона.

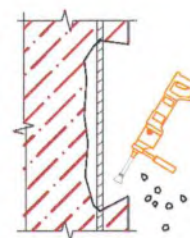
ЦМИД-В30(В40) – литая мелкозернистая бетонная смесь для ремонта обширных разрушений бетона.

Марка по водонепроницаемости – W12, марка по морозостойкости, не менее F400.

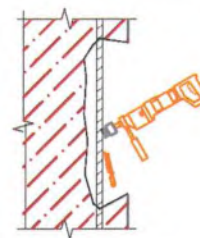
Поз.1. Оконтуривание дефектного участка



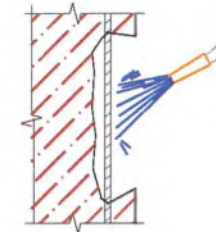
Поз. 2. Удаление дефектного бетона



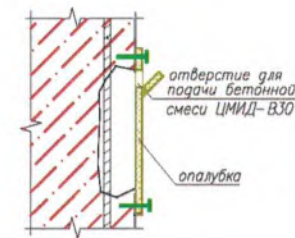
Поз. 3. Удаление ржавчины и частиц бетона с арматуры



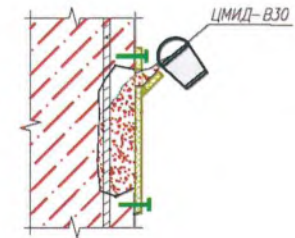
Поз. 4. Гидроструйная очистка бетонной поверхности



Поз. 5. Монтаж опалубки



Поз. 6. Заполнение полости глубиной более 50 мм и на площади более 1м²



Поз. 7. Покрытие отремонтированной поверхности пленкообразующим составом ЦМИД-ВПС

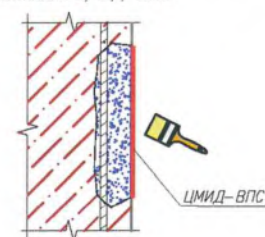


Рисунок В.2 – Ремонт участков с поверхностными дефектами бетона глубиной от 1 до 5 см и площадью до 1 м² с обнажением арматуры.

Сухая бетонная смесь (СБС) ЦМИД-В30 (В40) состоит из двух компонентов:

Компонент 1: портландцемент, микронаполнители, мелкий заполнитель и функциональные добавки.

Компонент 2: крупный заполнитель фр. 5-10 мм.

Компонент 1 упакован в крафт мешок весом 40 кг. Компонент 2 – в крафт мешок весом 30 кг (33 кг).

Количество воды затворения: ЦМИД-В30 – 4,5÷5,5 л на 70 кг СБС; ЦМИД-В40 – 5,0÷6,0 л на 73 кг СБС.

Состав перемешивается 5-7 мин. Перемешивание можно производить миксером (мощностью 1200 Вт) или в бетоносмесителе принудительного или гравитационного действия. Время использования приготовленной бетонной смеси 45 мин.

Бетон, приготовленный на бетонном заводе.

Для бетонирования ремонтируемого участка, также может использоваться литая или самоуплотняющаяся бетонная смесь с необходимыми проектными требованиями предъявляемыми к ремонтируемой конструкции.

Во избежание расслоения и потери подвижности приготовленную бетонную смесь на строительную площадку доставляют миксерами.

В.2.3 Заполнение ремонтным составом подготовленных полостей

Перед укладкой ремонтного бетона основание ремонтируемой полости должно быть насыщено водой, а поверхность смочена, при этом избыточная вода должна быть удалена.

Производится заполнение (бетонирование) полости бетоном, см. рисунок В.2, поз. 6.

Подача бетонной смеси за опалубку производится слоями высотой 0,3-0,4 м.

После укладки слоя производится простукивание по опалубке молотком.

Бетонирование дефектного участка осуществляется одной захваткой, при этом необходимо, чтобы смесь за опалубку подавалась равномерно по всей длине ремонтируемого участка.

Уплотнение бетонной смеси производится через окна в опалубке с помощью навесных или ручных вибраторов. Время воздействия вибратора на бетонную смесь следует ограничить пятью секундами в одной точке.

В.2.4 Уход за уложенным ремонтным бетоном.

Снятие опалубки с отремонтированного участка разрешается после достижения прочности уложенного бетона 50% от проектной прочности. После снятия опалубки на отремонтированный участок наносят пленкообразующее покрытие - ЦММИД-ВПС, см. рисунок В.2, поз. 7.

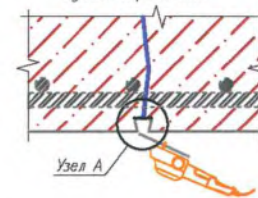
В.2 Карта ремонта №2. Герметизация трещин. Технология ремонтных работ.

Ремонтные работы следует проводить при минимальной температуре воздуха не ниже +5°C, температура на поверхности основания, подготавливаемого для укладки раствора, не ниже +5°C.

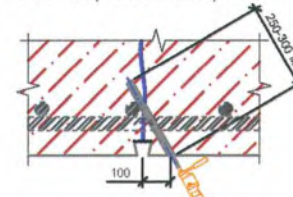
В.2.1 Подготовительные работы.

С помощью отрезной машины и перфоратора трещина по всей длине разделяется путем устройства штрабы с обратным уклоном «ласточкин хвост» и надреза глубиной 20÷40 мм, см. рисунок В.2, поз. 1.

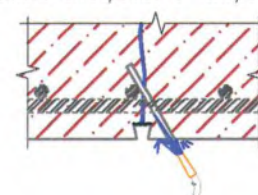
Поз 1. Устройство штрабы вдоль трещины



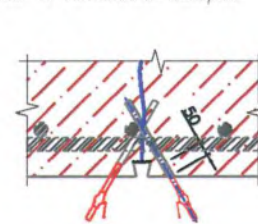
Поз 2. Сверление отверстий



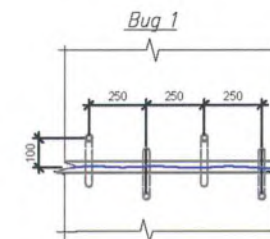
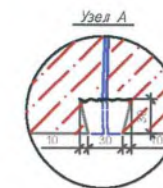
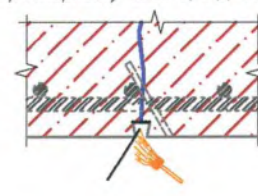
Поз 3. Гидроструйная очистка и продувка воздухом под давлением бетона отверстия и штрабы



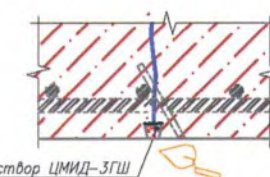
Поз 4. Установка пакера



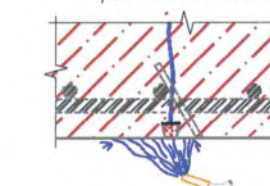
Поз 5. Нанесение адгезионного (праймерного) слоя ЦМИД-1К



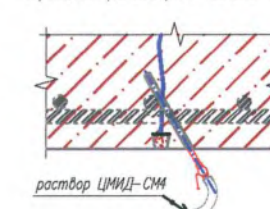
Поз 6. Зачеканка штрабы раствором ЦМИД-3ГШ



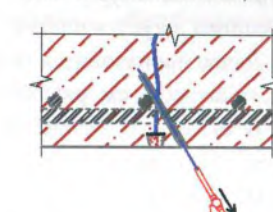
Поз 7. Увлажнение уложенного ремонтного состава



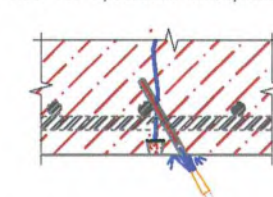
Поз 8. Инъектирование трещины раствором ЦМИД-СМ



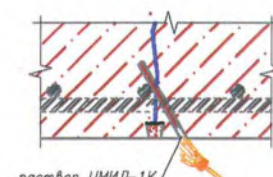
Поз 9. Демонтаж пакера



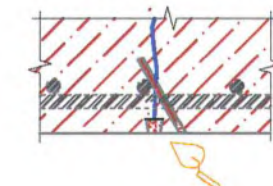
Поз 10. Промывка отверстия



Поз 11. Нанесение адгезионного (праймерного) слоя ЦМИД-1К



Поз 12. Зачеканка отверстия раствором ЦМИД-3ГШ



Поз 13. Увлажнение уложенного ремонтного состава

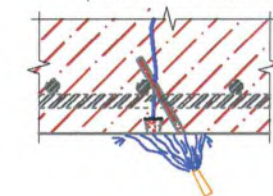


Рисунок В.2 – Герметизация трещин.

Вдоль трещины в шахматном порядке под углом ~30 градусов к плоскости трещины выбуриваются шпуров. Шаг бурения шпуров 250 мм, длина шпуров 250÷300 мм, расстояние от трещины до устья шпура ~ 100 мм, см. рисунок В.2, поз. 2.

Далее производится гидроструйная очистка и продувка сжатым воздухом отверстий и полости штрабы, см. рисунок В.2, поз. 3.

В скважины вставляют инъекционные пакеры с кеглевидным ниппелем высокого давления на глубину 50 мм см. рисунок В.2, поз. 4.

В.2.2 Приготовление ремонтных составов.

ЦМИД-1К - адгезионная обмазка.

Состав гидроизоляционного раствора (по весу) – 180-200 мл воды на 1 кг сухой смеси. Раствор готовят путём добавления сухого порошка ЦМИД-1К в отмеренное количество воды. Смесь перемешивается в течение 2-3 минут. Состав оставляется на 3-5 минут, для растворения добавок, и снова перемешивается 2-3 минуты. Приготовленный раствор необходимо использовать в течение 30-45 минут. При этом его необходимо периодически перемешивать.

Расход ЦМИД-1К – 1,8 кг/м² при толщине слоя 1,0 мм.

ЦМИД-3ГШ - ремонтный раствор.

Ремонтный состав готовится перемешиванием в растворосмесителе принудительного действия сухой смеси ЦМИД-3ГШ с водой в течение 3-5 минут до получения однородной массы требуемой консистенции. Пластичность раствора ЦМИД-3ГШ сопоставима с пластичностью штукатурного раствора.

Приготовленный раствор необходимо использовать в течение 30-40 минут. При этом его необходимо периодически перемешивать.

ЦМИД-СМ4 - инъекционный ремонтный состав на основе низковязкой эпоксидной смолы.

ЦМИД - СМ4 состоит из двух компонентов:

- компонент А (основа) - жидкость светлого цвета, прозрачная.
- компонент В (отвердитель) - жидкость темно-коричневого цвета.

Смешение компонентов производится в непитывающей (металлическая, пластиковая и т.п.) емкости в соотношении 2:1 (по массе). Сначала в емкость выливается компонент А, затем в него добавляется компонент В при постоянном равномерном смешении.

Перемешивание с помощью миксера с низкой скоростью вращения (60-80 об/мин.) в течение 2-3 минут.

Время жизни и вязкость раствора зависит от температуры окружающего воздуха: при +5°C - 80 мин, при +15°C - 50 мин, при +25°C - 30 мин.

В.2.3 Заделка трещин.

Бетон штрабы должен быть насыщен водой. На поверхность штрабы наносится подготовительный (праймерный) слой на основе ЦМИД-1К, см. рисунок В.2, поз. 5. Не позднее 10-15 минут после обработки адгезионной суспензией штраба заполняется ремонтным раствором ЦМИД-3ГШ с уплотнением (кельмой, мастерком или шпателем), см. рисунок В.2, поз. 6.

Выполняются работы по уходу за уложенным бетоном, см. рисунок В.2, поз.7.

Инъекционные работы следует проводить после набора 70% прочности раствора омоноличивания трещины. С помощью инъекционного оборудования, обеспечивающего давление подачи смеси от 5 до 10 атм.

Перед началом работы все краны на пакерах необходимо открыть.

Перед началом инъектирования производится пробное нагнетание воды в скважины. При этом фиксируется сообщение между скважинами, расход подаваемой воды, возможные выходы воды на поверхность конструкции.

Инъектирование трещин следует начинать с самого нижнего (крайнего) пакера, постепенно переходя к соседним пакерам. Контроль за качеством заполнения в процессе инъектирования осуществляется через пакеры расположенные в непосредственной близости от пакера в который подаётся инъекционный раствор.

Нагнетание скважин производится до полного отказа в поглощении раствора. Опрессовка скважины (выдерживание при давлении 6 атм.) после отказа производится в течение 3 минут, см. рисунок В.2, поз. 8.

Признаком того, что следует начинать подачу раствора в пакер расположенный выше, является:

- раствор не «идет» в пакер;
- инъекционный раствор начал вытекать из пакера (-ов) расположенных выше (рядом с пакером в который подаётся раствор);
- расход инъекционного раствора необоснованно велик в этом случае инъекционный раствор, вероятно, вытекает за пределы ремонтируемой конструкции.

Глубина проникновения нагнетаемого раствора зависит от величины раскрытия трещины, шва. Порядок инъектирования определяется и корректируется в процессе производства работ.

После окончания нагнетания раствора пакер необходимо заглушить с помощью запорного механизма для предотвращения выхода инъекционного раствора, см. рисунок В.2, поз. 9.

После затвердевания раствора инъекционные пакеры вынимаются и скважины тампонируются раствором ЦМИД-3ГШ, см. рисунок В.2, поз. 10 - 13.

В.2.4 Уход за уложенным ремонтным раствором.

После затвердевания ремонтного состава ЦМИД-3ГШ и набора им необходимой прочности (примерно через 3 часа) ремонтные поверхности следует регулярно смачивать распыленной струей воды, не допуская размыва поверхности, или укрывают влажными тканевыми материалами. Тепловлажностный уход ведется в течение 2 - 3 суток, а при температуре воздуха выше +20°C уход осуществляется 7 суток. Не допускается полное высыхание ремонтного состава в течение первых двух суток твердения.

Приложение Г (обязательное)

Схемы монтажа элементов усиления

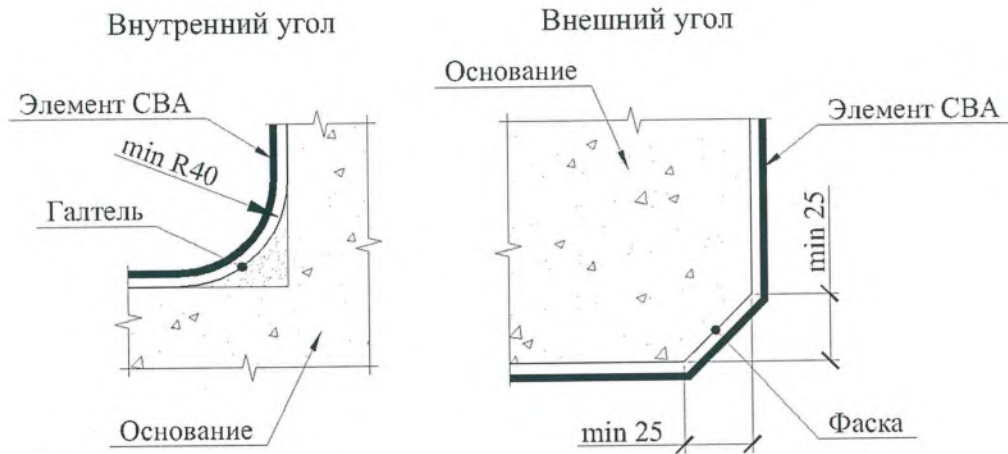


Рисунок Г.1 – Подготовка поверхности основания в угловых зонах

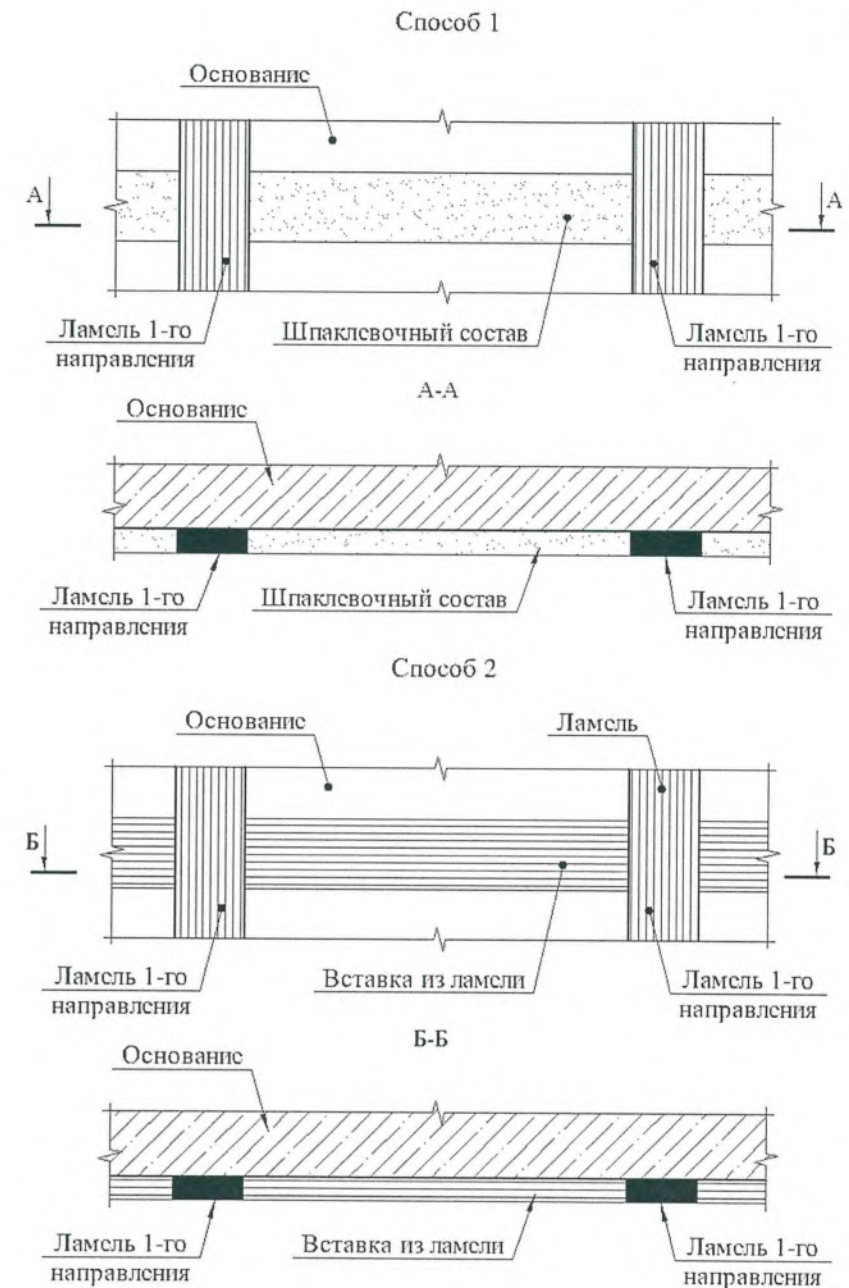


Рисунок Г.2 – Выравнивание основания под укладку ламелей во втором направлении

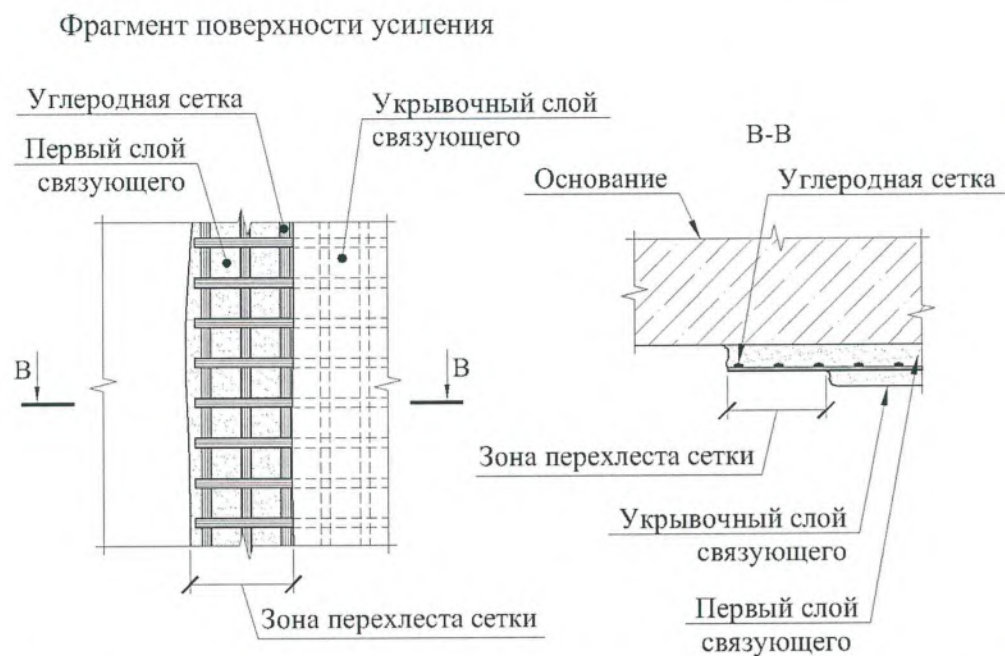


Рисунок Г.3 – Нанесение укрывочного слоя связующего в случае усиления только части поверхности основания в течение срока жизнеспособности связующего

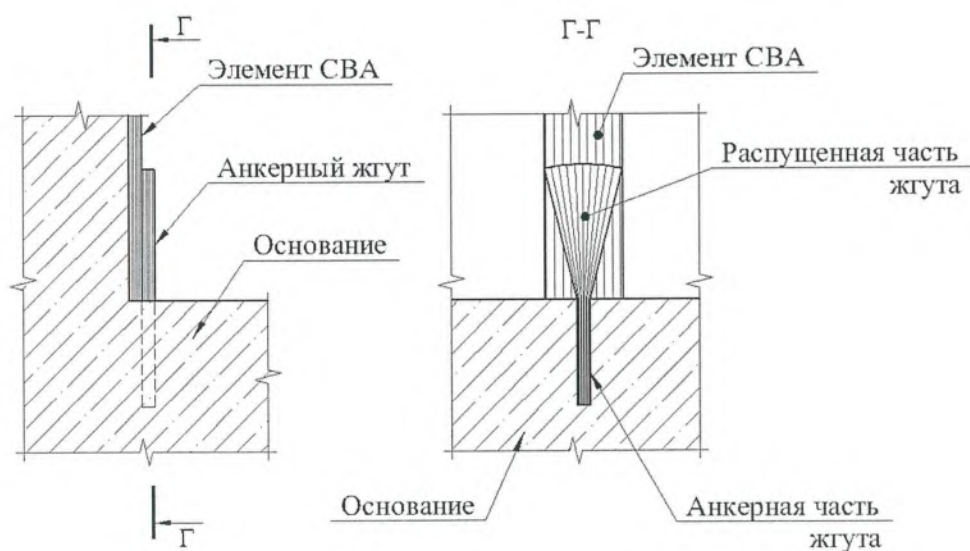


Рисунок Г.4 – Установка анкерного жгута с анкеркой в основании

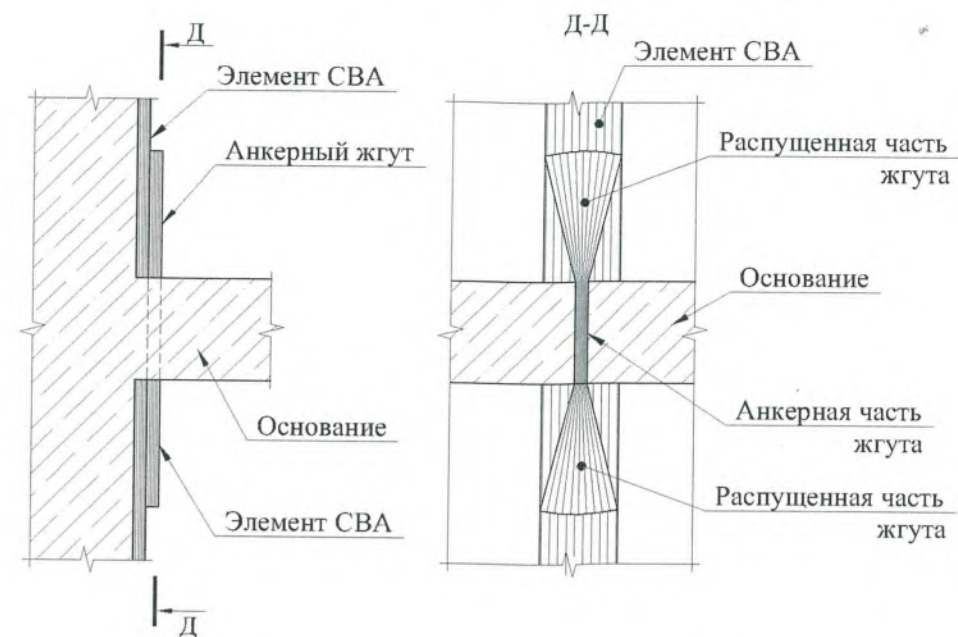


Рисунок Г.5 – Сквозная установка анкерного жгута

Приложение Д (обязательное)

Методика определения адгезии композита к бетонной поверхности

Д.1 Прочность сцепления элементов усиления с основанием проверяется методом отрыва.

Д.2 Принципиальная схема проведения испытания приведена на рисунках Д.1 и Д.2.



Рисунок Д.1 – Схема приложения отрывающего усилия к пластине («пятачку»)

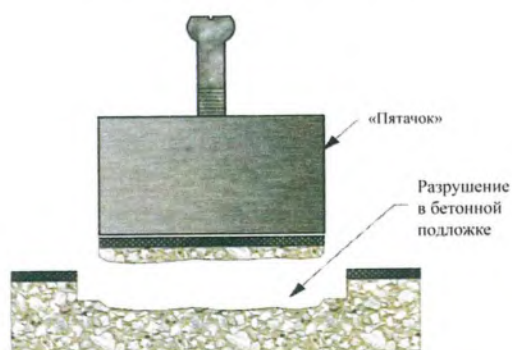


Рисунок Д.2 – Схема когезионного разрушения бетонной подложки

Д.3 Не ранее через сутки после устройства усиливающих элементов из композитного материала на их поверхность наклеиваются специальные круглые пластины («пятачки») диаметром 38 мм, толщиной 20-30 мм (см. рисунок Д.3). Для приклейки «пятачков» может использоваться то же связующее, что и для наклейки армирующих элементов композита, либо быстротвердеющий клей, не оказывающий негативного воздействия на матрицу СВА.

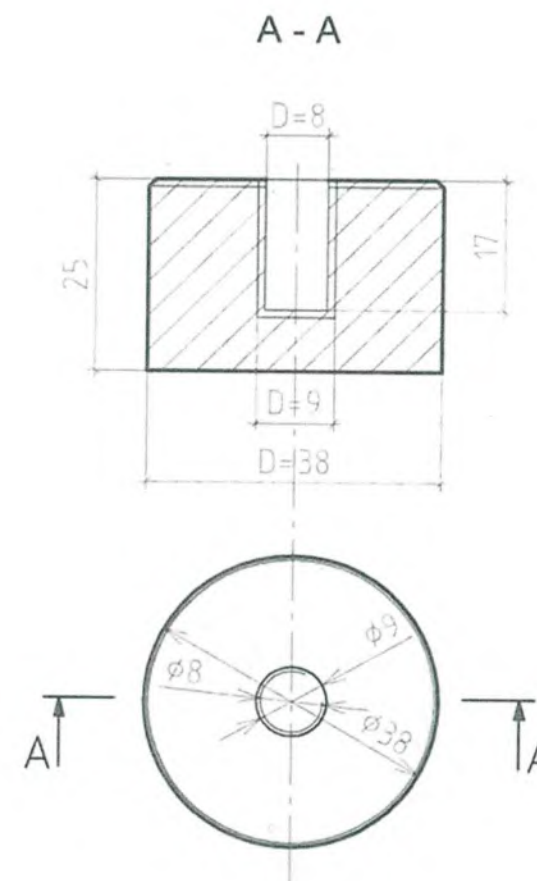


Рисунок Д.3 – Схема пластины для испытаний на адгезию («пятачка»)

Д.4 Количество наклеиваемых «пятачков» составляет не менее 3 шт. на 100 м² площади наклейки внешнего армирования и устанавливается проектом в зависимости от конструктивных особенностей усиливаемых конструкций. Наклейка «пятачков» может осуществляться непосредственно на расчетные усиливающие элементы усиления (рисунок Д.4) или на дополнительные элементы СВА, наклеенные рядом с проектными элементами усиления.

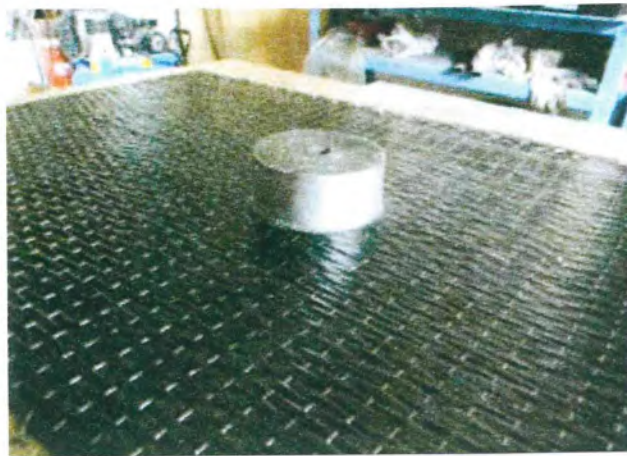


Рисунок Д.4 – «Пятачок», наклеенный на элемент СВА

Наклейка дополнительных накладок рядом с основными элементами усиления, которая выполняется одновременно с наклейкой основных элементов, позволяет избежать в дальнейшем ремонта основных элементов усиления после испытания на адгезию.

Д.5 После отверждения клея на контактной поверхности «пятачков» производится локальное «обуривание» композита вокруг «пятачка» (рис. Д.5-Д.6).

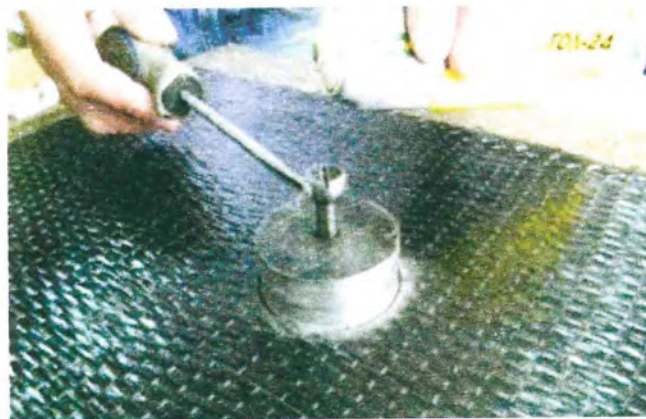


Рисунок Д.5 – Обуривание СВА вокруг «пятачка»



Рисунок Д.6 – Обуривание СВА вокруг «пятачка»

Глубина обуривания должна соответствовать толщине композита и не превышать толщины защитного слоя бетона.

Д.6 В резьбовое отверстие в «пятачке» ввинчивается анкер адгезиметра (рисунок Д.7).



Рисунок Д.7 – «Пятачок» с ввинченным в него анкером-«грибком»

Д.7 К «пятачку» с анкером присоединяется адгезиметр (рисунок Д.8).



Рисунок Д.8 – Подсоединение адгезиметра к анкеру

Д.8 Во время испытания фиксируется максимальное усилие растяжения при отрыве «пяточка», приложенное перпендикулярно поверхности (рисунок Д.9).



Рисунок Д.9 – Результат испытания

При удовлетворительной прочности сцепления и достаточной прочности подготовленной перед усилением бетонной поверхности разрушение должно произойти по бетону (рисунок Д.10).



Рисунок Д.10 – Когезионное разрушение бетонной подложки

Д.9 Фактическая величина адгезии определяется по формуле Д.1.

$$R_{\text{сц}} = \sqrt{\frac{4N}{\pi d^2}}$$

(Д.1)

Д.10 Величина адгезии должна быть не меньше 0,9 МПа.

Д.11 После проведения испытаний выполняется ремонт мест испытаний в соответствии с требованиями ТР на выполнение работ по усилению.

Приложение Е (обязательное)

Методика изготовления и испытания образцов-представителей композита (лент и тканей)

Е.1 В целях определения фактической прочности композита на растяжение и модуля упругости выполняют испытания образцов-представителей.

Е.2 Для изготовления образцов-представителей используется тот же армирующий материал и связующее, что и при устройстве внешнего усиления на конструкции.

Е.3 Для изготовления образцов-представителей изготавливаются пластины размером 300х300 мм с количеством слоев ткани (ленты) и их взаимным расположением в соответствии с проектом.

Е.4 Количество изготавливаемых образцов в смену каждой бригадой рабочих составляет два образца на каждые 200 м².

Е.5 Изготовление образцов-представителей проводят на месте производства основных работ. Для изготовления используют плоскую, горизонтальную поверхность, покрытую предварительно полиэтиленовой пленкой (толщина от 120 до 200 микрон) или стеклом. На поверхность наносится антиадгезив для уменьшения сцепления с основанием. Технология изготовления образцов-представителей должна полностью соответствовать основной технологии устройства внешнего армирования на конструкции. После отверждения связующего на образцы наносится маркировка. Образцы должны храниться на месте производства работ и не перемещаться в течение 2-3 суток после изготовления.

Е.6 Испытания образцов проводятся по ГОСТ 25.601 и ГОСТ 25.602.

Библиография

- [1] ТУ 1916-018-61664530-2013 Углеродные однонаправленные ленты для системы внешнего армирования
- [2] ТУ 1916-019-61664530-2013. Углеродные двунаправленные ткани для системы внешнего армирования.
- [3] ТУ 2257-012-61664530-2012. Состав эпоксидный двухкомпонентный FibArm Resin 230 для пропитки систем внешнего армирования.
- [4] ТУ 2257-047-61664530-2014. Эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin 230+ для пропитки систем внешнего армирования FibArm.
- [5] ТУ 2257-048-61664530-2014. Эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin 530+ для пропитки систем внешнего армирования FibArm.
- [6] ТУ 2257-066-61664530-2014. Эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin WS+ для пропитки систем внешнего армирования FibArm.
- [7] ТУ 2257-067-61664530-2015. Эпоксидное двухкомпонентное связующее FibArm Resin HT+ для пропитки систем внешнего армирования FibArm.
- [8] ТУ 2256-063-61664530-2015. Углепластиковые ламели FibArm Lamel.
- [9] ТУ 1916-020-61664530-2013. Углеродные сетки для систем внешнего армирования.
- [10] СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования (приняты и введены в действие Постановлением Госстроя РФ от 23.07.2001 № 80)
- [11] СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство. СНиП 12-04-2002 (Зарегистрировано в Минюсте России 18.10.2002 № 3880)
- [12] ППБ 01-03 Правила пожарной безопасности в Российской Федерации

[13] ПОТ Р М-012-2000. Межотраслевые правила по охране труда при работе на высоте (утв. Постановлением Минтруда РФ от 04.10.2000 № 68)

[14] П 69-97 Руководство по методике оценки ресурса работоспособности и безопасности бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, система внешнего армирования, углеводородные волокна, усиление, восстановление

**Руководитель организации-разработчика
АО «НИИЭС»**

Генеральный директор

Ю.Б. Шполянский

Руководитель разработки

Заместитель Генерального директора
по технической политике

О.Д. Рубин

Руководитель организации-соисполнителя

ООО «НЦК»

Генеральный директор

М.А. Столяров

Руководитель организации-соисполнителя

АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

Генеральный директор

Е.Н. Беллендир

Руководитель организации-соисполнителя

АО «Институт Гидропроект»

Генеральный директор

Е.Н. Беллендир

Руководитель организации-соисполнителя

ООО «ИЦ СКТЭ»

Заместитель Генерального директора

С.Е. Лисичкин

УДК 624.012.45: 626

ББК 38.77-03

Г 46

Г 46 **ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ. УСИЛЕНИЕ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМОЙ
ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН.
СТО НИИЭС 002-2016.** – М.: Издательство «Перо», 2016. –
164 с.

© АО «НИИЭС», 2016

Редактор *И.Б. Мулин*
Корректор *М.В. Лоткова*
Компьютерная верстка *В.С. Бельшев*

Издательство «Перо»
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 15, ком. 536
Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36
Подписано в печать 07.07.2016. Формат 70×100/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 10,25. Тираж 50 экз. Заказ 435.
Отпечатано в ООО «Издательство «Перо»