
Закрытое акционерное общество
«Препрег-СКМ»

СТАНДАРТ
ОРГАНИЗАЦИИ

СТО
2256-002-2011

**СИСТЕМА ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ FibARM
ДЛЯ РЕМОНТА И УСИЛЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Общие требования. Технология устройства


Издание официальное

Москва
2011

Закрытое акционерное общество «Препрег-СКМ»

СОГЛАСОВАНО

Директор НИИЖБ



И. И. Карпухин
« 18 » _____ 2012 г.

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального
Директора по коммерческим вопросам
ЗАО «ХК «Композит», управляющей
организации ЗАО «Препрег-СКМ»



В. В. Хлебников
« 18 » _____ 2012 г.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Лист утверждения

СТО 2256-002-2011

**СИСТЕМА ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ FIBARM
ДЛЯ РЕМОНТА И УСИЛЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Москва

2012

Закрытое акционерное общество «Препрег-СКМ»

СОГЛАСОВАНО

Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по научной работе,
к.т.н., доцент


М.В. Алешков

« » _____ 2012 г.

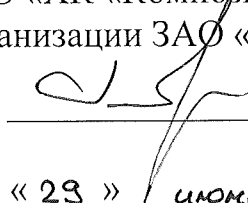
Заместитель начальника УНК ППБС
Академии ГПС МЧС России,
к.т.н., доцент


А.Б. Сивенков

«29» июня _____ 2012 г.

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального
директора по коммерческим вопросам
ЗАО «ХК «Композит», управляющей
организации ЗАО «Препрег-СКМ»


В.В. Хлебников

«29» июня _____ 2012 г.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Лист утверждения

СТО 2256-002-2011

**СИСТЕМА ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИТОВ FIBARM ДЛЯ РЕМОНТА И УСИЛЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Москва
2012

Закрытое акционерное общество «Препрег-СКМ»

СОГЛАСОВАНО


УТВЕРЖДАЮ

Руководитель Испытательного центра
технических средств железнодорожного
транспорта федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет путей
сообщения» (ИИТС МИИТ)

Первый заместитель генерального Директора
по коммерческим вопросам ЗАО «ХК
«Композит», управляющей организации ЗАО
«Препрег-СКМ»



проф. В.И. Кондращенко
2012г.


В.В. Хлебников
«20» февраля 2012 г.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Лист утверждения

СТО 2256-002-2011

**СИСТЕМА ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ FibARM®
ДЛЯ РЕМОНТА И УСИЛЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Москва

2012

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г, № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения стандартов организации – ГОСТ Р 1.4–2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Препрег-СКМ» при участии НИИЖБ.

НИИЖБом разработан раздел 6, включающий рекомендации по расчету усиления конструкций с помощью СВА FibARM. Принималось участие в разделах 2, 3, 4, 5, 7. Добавлено приложение 1.

2 ВНЕСЕН Конструкторским бюро ЗАО «Препрег-СКМ»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом первого заместителя Генерального директора Закрытого акционерного общества «Препрег-СКМ» от 18 января 2012 г. № 18/01/12-П

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ЗАО «Препрег-СКМ», 2011 г.

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ЗАО «Препрег-СКМ»

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки.....	1
3 Термины, определения и обозначения	3
3.1 Термины и определения.....	3
3.2 Условные обозначения.....	4
4 Общие указания.....	5
5 Материалы	6
6 Расчет усиления железобетонных конструкций СВА FibARM	8
6.1 Основные расчетные положения.....	8
6.2 Расчет по предельным состояниям первой группы.....	10
6.3 Расчет по предельным состояниям второй группы	29
7 Устройство внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM.....	31
7.1 Общие указания.....	31
7.2 Подготовка поверхности конструкции.....	33
7.3 Подготовка усиливающих элементов	35
7.4 Подготовка адгезива.....	36
7.5 Наклейка усиливающих элементов	36
7.6 Защита внешнего армирования.....	39
8 Контроль качества	40
9 Безопасность труда	42
10 Охрана окружающей среды	43
11 Гарантии изготовителя и производителя работ.....	43
Приложение 1. Примеры расчета.....	44

**СИСТЕМА ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ
FibARM ДЛЯ РЕМОНТА И УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Общие требования. Технология устройства

System of externally bonded reinforcement by polymer composites FibARM
for maintenance and strengthening building structures
General requirements. Technology

Дата введения – 2012–01–18

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на систему из полимерных композитов FibARM и технологию выполнения работ по устройству внешнего армирования данной системой железобетонных конструкций надземных и подземных частей зданий и сооружений, сооружений транспортной инфраструктуры и энергетического комплекса, гидротехнических сооружений, трубопроводов и т.д.

Система внешнего армирования FibARM предназначена для повышения и/или восстановления несущей способности, трещиностойкости и жесткости строительных конструкций, работающих на изгиб, кручение, центральное и внецентренное сжатие, а также в условиях воздействия взрывных и сейсмических нагрузок.

Стандарт устанавливает общие требования к проведению работ, требования к оборудованию, приспособлениям, инструменту и материалам, используемым в технологическом процессе, последовательность выполнения отдельных технологических операций, включая приемы выполнения отдельных видов работ, требования к технологическим режимам, методы контроля качества работ и материалов, а также требования безопасности и охраны окружающей среды.

Стандарт рекомендуется для использования проектными организациями при разработке документации на ремонт и реконструкцию железобетонных и бетонных конструкций различного назначения системами внешнего армирования из полимерных композитов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

- 1 СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции.
- 2 СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
- 3 СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».
- 4 Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. ООО «Интераква», НИИЖБ. 2006г.
5. ТУ 1916-005-61664530-2011. Углеродные однонаправленные ленты для систем внешнего армирования (СВА). Технические условия. ЗАО «Препрег-СКМ».
- 6 ГОСТ 25.601-80. «Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах».
- 7 ГОСТ 427-75 Линейка измерительная металлическая. Технические условия.
- 8 ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
- 9 ГОСТ 24297-87 Входной контроль продукции. Основные положения.
- 10 ГОСТ 12.0.004-90. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
- 11 ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ.
- 12 ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
- 13 ГОСТ 17624-87 Бетоны. Определение прочности ультразвуковым методом неразрушающего контроля.

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии 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. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и обозначения

В настоящем стандарте использованы основные термины и буквенные обозначения по СНиП 52-01-2003 [1] и СП 52-101-2003 [2], а также другим ссылочным документам.

Основные термины, определения и условные обозначения характеристик систем внешнего армирования из полимерных композитов FibARM приведены в разделах 3.1 и 3.2.

3.1 Термины и определения

3.1.1 композит: Твердый продукт, состоящий из двух или более, отличных друг от друга по форме и (или) фазовому состоянию и (или) химическому составу и (или) свойствам материалов, скрепленных, как правило, физической связью и имеющих границу раздела между обязательным материалом (матрицей) и ее наполнителями, включая армирующие наполнители.

Примечание – Матрица и наполнитель композита образуют единую структуру и действуют совместно, обеспечивая наилучшим образом необходимые свойства конечного изделия по его функциональному назначению.

3.1.2 полимерный композит: Композит, матрица которого образована из термопластичных или термореактивных полимеров или эластомеров.

Примечание – Под полимерным композитом в настоящем стандарте понимается композит, матрица которого образована в результате необратимого отверждения термореактивного полимера.

3.1.3 строительная конструкция (конструкция): Железобетонная, бетонная, кирпичная, каменная или армокаменная конструкция, восстанавливаемая или усиливаемая системой внешнего армирования.

3.1.4 внешнее армирование: Повышение и/или восстановление несущей способности, трещиностойкости и жесткости строительных конструкций путем наклейки на основание конструкции усиливающих элементов с термореактивным адгезивом и последующим его отверждением с образованием полимерного композита.

3.1.5 система внешнего армирования FibARM (СВА FibARM): Однослойная или многослойная система, представляющая собой полимерный композит, образующийся в результате отверждения термореактивного адгезива из эпоксидной смолы, армированного усиливающими элементами из углеродного волокна.

3.1.6 основание строительной конструкции (основание): Зона поверхности строительной конструкции, на которую производится наклейка усиливающих элементов.

3.1.7 усиливающий элемент: Часть ленты из углеродных волокон различных геометрических размеров, определенных в соответствии с проектной документацией на систему внешнего армирования FibARM и предназначенная для наклейки на основание строительной конструкции.

3.1.8 терморезактивный адгезив (адгезив): Состав из терморезактивного полимера для пропитки и наклейки усиливающих элементов на основание строительной конструкции.

3.1.9 пакер: Приспособление для инъектирования полимерсодержащих составов, представляющее собой металлическую трубку с внутренним диаметром 5-10 мм, длиной 40-50 мм, на одном из концов которой приварена шайба диаметром 40-50 мм.

3.1.10 галтель: Функциональный элемент отделки для скругления внутренних углов элементов конструкций для более равномерного распределения напряжений на них.

3.1.11 изготовитель: Организация-изготовитель материалов для систем внешнего армирования FibARM (СВА FibARM) — ЗАО «Препрег-СКМ».

3.1.12 производитель работ: Организация-производитель, выполняющая работы по усилению конструкций системами внешнего армирования из полимерных композитов FibARM.

3.2 Условные обозначения

3.2.1 Основные условные обозначения характеристик СВА FibARM:

R_f	—	нормативная прочность на растяжение СВА FibARM
		расчетная прочность на растяжение СВА FibARM с
R_{ft}	—	учетом коэффициента условия работы C_E и коэффициента надежности γ_f
R_{fu}	—	расчетное сопротивление растяжению СВА FibARM
R_{bc}	—	расчетное сопротивление бетона, усиленного сплошной обоймой СВА FibARM
ε_f	—	нормативная деформация растяжения СВА FibARM
		расчетная деформация растяжения СВА FibARM с
ε_{ft}	—	учетом коэффициента условия работы C_E и коэффициента надежности γ_f

ε_{fe}	— расчетная деформация растяжения поперечной СВА FibARM при усилении наклонных сечений
ε_{fu}	— предельное значение относительной деформации удлинения СВА FibARM
E_f	— модуль упругости СВА FibARM
E_{ft}	— расчетное значение модуля упругости СВА FibARM
L_f	— эффективная длина анкеровки
σ_{fu}	— расчетное напряжение в СВА FibARM
Q_f	— поперечная сила, воспринимаемая поперечной СВА FibARM в наклонном сечении
M_f	— изгибающий момент, воспринимаемый поперечной СВА FibARM, пересекающей наклонное сечение

4 Общие указания

4.1. Максимальная эксплуатационная температура работы системы FibARM не должна превышать температуру стеклования полимерной матрицы и клея. Допускается эксплуатировать конструкции, усиленные системой FibARM, при температурах выше температур стеклования полимерной матрицы и клея (+65°C) при устройстве дополнительных конструктивных мероприятий (теплоизоляционные покрытия), в результате которых по теплотехническому расчету температура элементов усиления FibARM находится в требуемом диапазоне (до +65°C).

4.2 Композитные материалы FibARM используются в качестве систем внешнего армирования для выполнения усиления конструкций колонн, стен, балок и плит перекрытий, оболочек, элементов ферм и других конструкций.

4.3 В качестве материалов для устройства внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM применяются армирующие материалы - ленты углеродные однонаправленные FibARM Tape и терморезистивный адгезив – двухкомпонентный эпоксидный компаунд FibARM Resin.

СВА FibARM может иметь однослойную или многослойную структуру.

4.4 Устройство внешнего армирования FibARM производится по специально разработанному проекту усиления конструкций при

соответствующем расчетном обосновании и соблюдении технологии производства работ.

Разработку проекта усиления рекомендуется производить при научно-техническом сопровождении НИИЖБ.

4.5 Допускается использовать в качестве адгезива составы, отличающиеся от FibARM Resin, при согласовании с производителем системы FibARM, а также при наличии данных об обеспечении необходимых физико-механических свойств системы в результате совместной работы ткани и адгезива по результатам соответствующих испытаний.

5 Материалы

5.1 Характеристики бетона и арматуры усиливаемых железобетонных конструкций принимают в зависимости от проектных классов, указанных в проекте, с учетом данных обследования и с учетом требований СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [3].

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 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.

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

Для проектирования характеристики однослойных и многослойных отвержденных углепластиков FibARM (нормативная прочность на растяжение R_f и модуль упругости E_f) определяются по данным механических испытаний образцов по ГОСТ 25.601-80 [6] с обеспеченностью 0,95.

Механические свойства применяемых однонаправленных углеродных лент и двунаправленных углеродных тканей FibARM Tape и углепластиков на их основе с использованием связующего FibARM Resin 230 представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Тип ткани	Ширина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина ленты монослоя, мм	Модуль упругости, ГПа (волокна)	Прочность на растяжение, ГПа (волокна)	Среднее значение модуля упругости, ГПа (углепластик)	Среднее значение прочности на растяжение, ГПа (углепластик)
Однонаправленные углеродные ленты							
FibARM Tape 200/300	300	200	0,111	245	4,3	245	3,6
FibARM Tape 230/300	300	230	0,128	245	4,3	245	3,6
FibARM Tape 300/300	300	300	0,167	245	4,3	245	3,6
FibARM Tape 350/300	300	350	0,194	245	4,3	245	3,6
FibARM Tape 530/300	300	530	0,294	245	4,3	245	3,6
Двунаправленные углеродные ткани							
FibARM Tape 240/120 0 twill	1200	240	0,066	245	4,3	245	3,6
FibARM Tape 300/120 0 twill	1200	300	0,083	245	4,3	245	3,6
FibARM Tape 450/120 0 twill	1200	450	0,125	245	4,3	245	3,6

Примечания:

1. Данные по механическим характеристикам в таблице представлены изготовителем;

2. Указанные значения механических свойств являются ориентировочными и должны быть подтверждены механическими испытаниями по ГОСТ 25.601-80 [6].

5.4 Характеристики всех применяемых однонаправленных углеродных лент и двунаправленных углеродных тканей для систем внешнего армирования FibARM приведены в ТУ [5].

6 Расчет усиления железобетонных конструкций СВА FibARM

6.1 Основные расчетные положения

6.1.1 СВА FibARM проектируется на восприятие растягивающих усилий с учетом совместности деформаций внешней арматуры и бетона конструкции.

6.1.2 Расчеты железобетонных конструкций с использованием систем внешнего армирования (СВА) из полимерных композитов FibARM производятся по предельным состояниям первой и второй групп.

В случае если усиление железобетонных конструкций с использованием СВА FibARM производится без последующего увеличения действующих нагрузок по сравнению с нагрузками на стадии эксплуатации, допускается расчет по 2-й группе предельных состояний не производить.

6.1.3 Для подбора сечения СВА FibARM следует определить уровень деформаций в конструкции от действующих нагрузок. В общем случае он будет зависеть от истории загрузки и наличия трещин в конструкции. Наиболее точно начальный уровень деформаций учитывается при использовании деформационной модели расчета, рассмотренной в разделе 6.2.4 настоящего стандарта.

6.1.4 При увеличении действующих нагрузок на усиливаемую железобетонную конструкцию после наклеивания внешнего армирования необходимо учитывать историю нагружения. При этом расчет выполняется с использованием деформационной модели расчета в два этапа.

На первом этапе выполняется расчет железобетонного элемента до выполнения СВА FibARM на действующие до усиления нагрузки с определением начальных напряжений и деформаций.

На втором этапе – после усиления на действие дополнительных усилий с учетом начальных напряжений и деформаций, действующих в элементе на первом этапе.

Допускается двухэтапный расчет с учетом истории нагружения выполнять по методике раздела 6.2.3.

6.1.5 Расчет без учета этапности нагружения оценивает несущую способность конструкции в предельной стадии и может выполняться как по методу предельных усилий, так и на основе нелинейной деформационной модели.

6.1.6 Проектирование усиления железобетонных конструкций с использованием СВА из полимерных композитов FibARM производится из условия совместной работы наклеенной внешней армату-

рой и бетонным основанием до наступления предельного состояния (см. п. 6.1.8).

6.1.7 Предельная деформация растяжения ε_f определяется исходя из линейной зависимости между напряжениями и деформациями вплоть до разрушения по формуле:

$$\varepsilon_f = \frac{R_f}{E_f} \quad (6.1.1)$$

Расчетные характеристики СВА FibARM определяются на базе нормативных характеристик с учетом коэффициента надежности γ_f и коэффициента условия работы C_E , учитывающего влияние окружающей среды.

Расчетная прочность на растяжение СВА FibARM с учётом коэффициентов надежности условия работы C_E определяется по выражению:

$$R_{ft} = \frac{C_E}{\gamma_f} R_f \quad (6.1.2)$$

При этом расчетные значения модуля упругости при растяжении принимаются равными их нормативным значениям, тогда:

Расчетная деформация растяжения:

$$\varepsilon_{ft} = \frac{R_{ft}}{E_f} \quad (6.1.3)$$

Коэффициенты условий работы C_E для углеродных тканей FibARM принимаются в зависимости от условий окружающей среды:

0,9 – для внутренних помещений;

0,8 – для конструкций на открытом воздухе и в агрессивной среде.

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 выполнении наклейки ткани "мокрым" способом, согласно п. 7.5.8, указанные выше значения коэффициента надежности γ_f увеличиваются на 15%.

При расчете по предельным состояниям второй группы коэффициент надежности принимается равным 1.0.

6.1.8 Совместная работа между наклеенной внешней арматурой и бетонным основанием обеспечивается предотвращением отслаивания.

Предотвращение отслаивания СВА FibARM достигается путем ограничения их расчетных деформаций растяжения.

Предельные расчетные деформации СВА FibARM определяются по формуле:

$$\varepsilon_{fu} = k_m \varepsilon_{ft}, \quad (6.1.4)$$

где k_m - коэффициент условия работы СВА FibARM, зависящий от жесткости элемента усиления:

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

$$\text{при } nE_{ft}t_f \geq 180000 \quad k_m = \frac{1}{60\varepsilon_{ft}} \left(\frac{90000}{nE_{ft}t_f} \right) \leq 0,9;$$

n - количество слоев СВА.

Расчетное сопротивление растяжению определяется по формуле:

$$R_{fu} = E_f \varepsilon_{fu} \quad (6.1.5)$$

6.2 Расчет по предельным состояниям первой группы

6.2.1 Общие положения

6.2.1.1. Расчет прочности изгибаемых железобетонных элементов, усиливаемых СВА, выполняется для нормальных и наклонных к продольной оси элемента сечений при действии изгибающих моментов и поперечных сил.

6.2.1.2. Расчет прочности сжатых и внецентренно сжатых железобетонных элементов, усиливаемых СВА, выполняется для нормальных к продольной оси элемента сечений при действии продольных сил и изгибающих моментов.

6.2.1.3. В общем случае расчет по прочности нормальных к продольной оси сечений железобетонных элементов, усиленных СВА FibARM, следует производить на основе нелинейной деформационной модели.

Допускается расчет элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений с арматурой, расположенной у перпендикулярных плоскости изгиба граней элемента, при действии усилий в плоскости симметрии нормальных сечений производить на основе предельных усилий.

В случаях необходимости учета напряженно-деформированного состояния конструкции до усиления согласно п.6.1.4 расчет выполняется деформационной модели согласно раз-

делу 6.2.4 или согласно методике раздела 6.2.3 настоящего стандарта в 2 этапа (до и после усиления).

6.2.2 Расчет по прочности нормальных сечений по предельным усилиям

6.2.2.1 Предельные усилия в сечении, нормальном к продольной оси усиленного железобетонного элемента, следует определять, исходя из следующих предпосылок:

- распределение относительных деформаций по высоте поперечного сечения элемента принимают по линейному закону;
- расчетные относительные деформации СВА FibARM достигают своих предельных значений при отслаивании ε_{fu} ;
- сопротивление бетона растяжению принимается равным нулю;
- сопротивление бетона сжатию в предельном состоянии представляется напряжениями, равными R_b и равномерно распределенными по высоте сжатой зоны;
- растягивающие и сжимающие напряжения в стальной арматуре принимают равными расчетным сопротивлениям растяжению R_s и сжатию R_{sc} соответственно;
- растягивающие напряжения во внешней арматуре из полимерных композитов FibARM принимают равными расчетному сопротивлению растяжению R_{fu} ;
- деформация сдвига в клеевом слое не учитывается.

6.2.2.2 Расчет по прочности нормальных сечений следует производить при ограничении высоты сжатой зоны, при котором предельное состояние элемента наступает с достижением во внешней арматуре из полимерных композитов FibARM напряжения, равному расчетному сопротивлению растяжению R_{fu} .

При этом граничная высота сжатой зоны бетона определяется исходя из гипотезы плоских сечений, принимая относительную деформацию крайнего волокна сжатой зоны бетона равной 0,0035.

Расчет изгибаемых элементов

6.2.2.3 Расчет по прочности нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов, усиленных СВА из полимерных композитов FibARM, производится из условия:

$$M \leq M_{ult}, \quad (6.2.1)$$

где M_{ult} - предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением усиленного элемента.

В предельном состоянии изгибаемого элемента усилия в сжатой зоне воспринимаются бетоном и сжатой стержневой арматурой, а в растянутой - стержневой арматурой и внешней композитной арматурой.

6.2.2.4 Для изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения (рис. 6.2.1), усиленных СВА на грани элемента из полимерных композитов FibARM, значение M_{ult} определяют по формуле:

$$M_{ult} = N_b z_b, \quad (6.2.2)$$

где N_b - равнодействующая нормальных усилий в сжатой зоне бетона (предельное усилие бетона сжатой зоны);

z_b - расстояние между предельным усилием бетона сжатой зоны и равнодействующей усилий в растянутой арматуре и внешнем армировании.

Предельное усилие бетона сжатой зоны N_b определяется исходя из условия равновесия внутренних усилий и внешних сил по формуле:

$$N_b - R_s A_s - R_{fu} A_f = 0 \quad (6.2.3)$$

Расстояние z_b определяется в зависимости от высоты сжатой зоны бетона:

$$z_b = (h - a_p - 0,5x), \quad (6.2.4)$$

где a - расстояние от края бетонной поверхности усиливаемого элемента до равнодействующей усилий в растянутой арматуре и внешнем армировании.

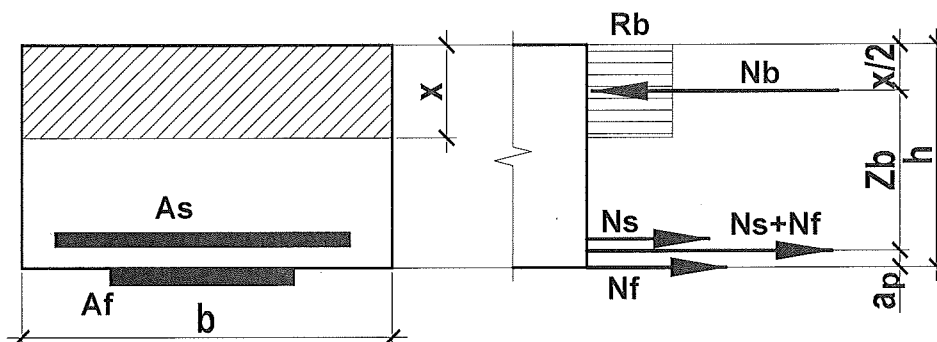


Рисунок 6.2.1. Расчетная схема усиливаемого сечения

Высота сжатой зоны бетона усиливаемого элемента определяется из условия:

$$x = \frac{N_b}{R_b b} \quad (6.2.5)$$

В расчетах балок и ребер с шириной менее 300мм, выполненных с загибом ленты на боковые поверхности балок, в расчет вводится только часть площади поперечного сечения внешнего армирования, ограниченной шириной балки (рис. 6.2.2).

Учет работы внешнего продольного армирования на боковых поверхностях должен рассматриваться в каждом отдельном проекте по результатам соответствующих обследований и расчетов.

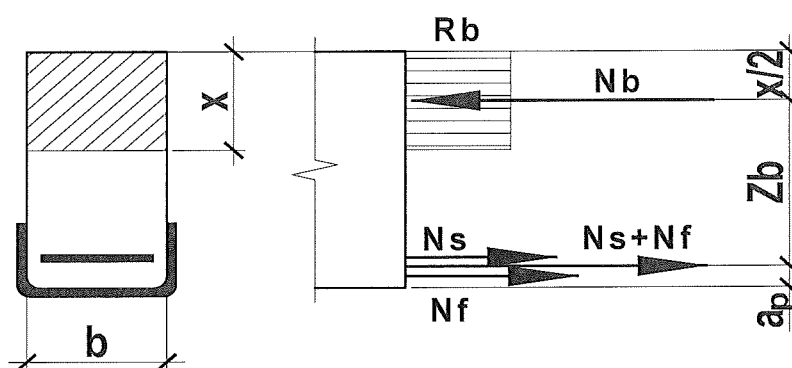


Рис. 6.2.2. Расчетная схема усиливаемого сечения с загибом ленты на боковые поверхности балок

6.2.2.5 Допускается при определении предельного изгибающего момента M_{ult} учитывать арматуру, расположенную в сжатой части сечения при обеспечении конструктивных требований по предотвращению выпучивания продольной арматуры согласно п.8.3.12 [2].

Расчет сжатых и внецентренно сжатых элементов

6.2.2.6 Повышение несущей способности колонн при осевом и внецентренном сжатии достигается путем создания обойм наклейкой композитного материала FibARM в направлении перпендикулярном оси элемента.

Обоймы из композитных материалов FibARM способствуют созданию объемно-напряженного состояния бетона, повышая прочность бетона (эффект обоймы).

6.2.2.7 Данный способ усиления применяется для колонн круглого, квадратного, а также прямоугольного сечения при отношении сторон $b/h \leq 1,5$.

Для прямоугольных сечений с соотношением сторон, превышающим 1,5, или с размерами поперечного сечения более 900 мм эффектом обоймы следует пренебрегать.

6.2.2.8 Расчет сжатых и внецентренно сжатых элементов усиленных СВА производится исходя из условия равновесия внутренних усилий и внешних сил с учетом влияния продольного изгиба (прогиба).

6.2.2.9 Влияние прогиба на несущую способность усиленных железобетонных элементов при расчете по недеформированной схеме, как в плоскости расчетного эксцентриситета, так и в нормальной к ней плоскости учитывается путем умножения начального эксцентриситета e_0 на коэффициент η .

Допускается коэффициент η определять согласно п. 6.2.16 [2] без учета наклеенной СВА из полимерных композитов FibARM в виду малости ее влияния на общую жесткость железобетонного элемента.

6.2.2.10 Расчетное сопротивление бетона колонны, усиленной сплошной обоймой по высоте, определяется по формуле:

$$R_{bc} = R_b \left(2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 \sigma_R}{R_b} - \frac{2 \sigma_R}{R_b}} - 1,254 \right) \quad (6.2.6)$$

где R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию,

$$\sigma_R = \frac{k_a \rho_f \varepsilon_{fe} E_f}{2};$$

$\varepsilon_{fe} E_f \leq 0,75 R_f$ – допускаемые предельные напряжения в обойме;

ρ_f – отношение площади поперечного сечения обоймы к площади поперечного сечения колонны;

k_a – коэффициент эффективности обоймы, принимаемый $k_a = 1,0$ для колонн круглого сечения.

Для колонн прямоугольного сечения $k_a < 1,0$ определяется по формуле:

$$k_a = 1 - \frac{(b - 2r)^2 + (h - 2r)^2}{3bh(1 - \mu)} \quad (6.2.7)$$

где b, h – размеры поперечного сечения колонны,

r – радиус закругления граней колонны,

μ – коэффициент армирования.

6.2.2.11 В случае использования отдельных обойм (бандажей) по высоте колонны (рис. 6.2.3), расчетное сопротивление бетона определяется умножением величины R_{bc} , полученной по формуле

6.2.6, на коэффициент k_e , вычисляемый графическим способом в зависимости от относительного расстояния между отдельными бандажами по рис. 6.2.4.

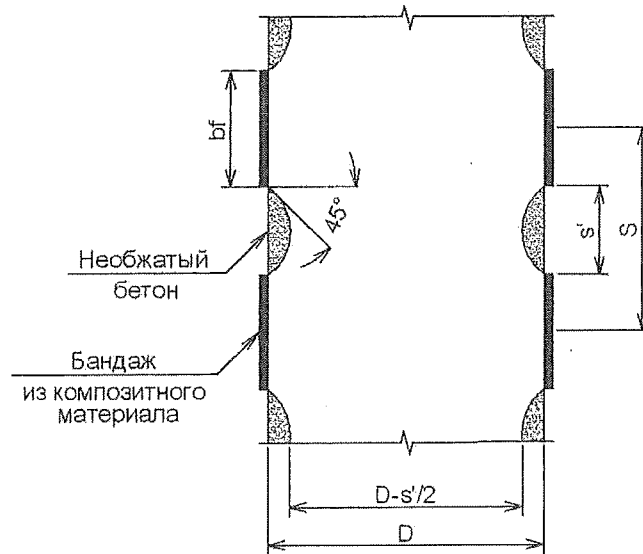


Рис. 6.2.3. Усиление колонны отдельными бандажами по высоте.

6.2.2.12 Приведенная методика учета эффекта обоймы справедлива при величине эксцентриситета, не превышающей $0,1h$, где h – диаметр круглой колонны или минимальный размер сечения прямоугольной колонны.

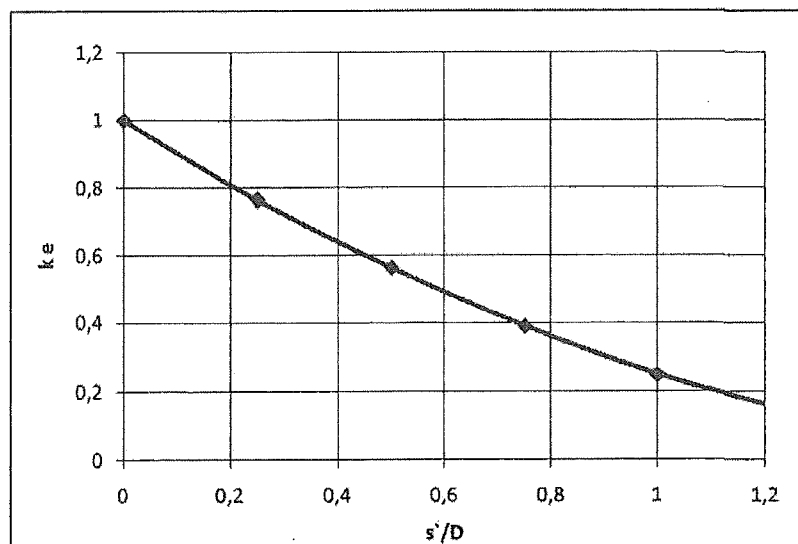


Рис. 6.2.4. График зависимости коэффициента от относительного расстояния между отдельными бандажами

Расчет центрально-растянутых элементов

6.2.2.13 Системы внешнего армирования из полимерных композитов FibARM могут быть использованы для повышения несущей способности центрально-растянутых элементов.

6.2.2.14 Растягивающие напряжения, воспринимаемые СВА, определяются из условия:

$$\sigma_{fu} = \varepsilon_{fe} E_f \leq R_{fu}, \quad (6.2.8)$$

где расчетная деформация ε_{fe} ограничивается способностью передавать напряжение подложке через адгезив и определяется согласно п. 6.2.5.6 настоящего стандарта.

Допускается принимать значение коэффициента k_1 равным 1,0.

При этом необходимо обеспечивать минимальную длину сцепления равную $2L_f$.

Эффективная длина анкеровки L_f определяется по формуле, в мм:

$$L_f = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0.58}}, \text{ но не менее } 100 \text{ мм} \quad (6.2.9)$$

Для основания с прочностью бетона ниже 25 МПа длину анкеровки принимают не менее 200мм.

Расчет внецентренно растянутых элементов

6.2.2.15 Расчет по прочности нормальных сечений внецентренно растянутых элементов по предельным усилиям производится в зависимости от положения внешней продольной силы N .

В случае расположения внешней продольной силы N между равнодействующими в арматуре наиболее и наименее растянутых зон несущая способность элемента определяется работой растянутой стальной арматурой и наклеенной системой внешнего армирования из композитных материалов в растянутой зоне

При расположении внешней продольной силы N за пределами расстояния между равнодействующими в арматуре наиболее и наименее растянутых зон несущая способность элемента определяется работой сжатого бетона и сжатой стальной арматуры в сжатой зоне поперечного сечения, а также растянутой стальной арматурой и наклеенной системой внешнего армирования из композитных материалов в растянутой зоне.

6.2.3 Расчет по прочности нормальных сечений с учетом истории нагружения

6.2.3.1 Расчет по прочности нормальных сечений с учетом истории нагружения выполняется с целью учета влияния напряженного состояния конструкции до усиления на ее несущую способность после усиления в предельной стадии.

6.2.3.2 В общем случае различают три стадии работы железобетонной конструкции. Первая стадия характеризует работу элемента как сплошного упругого тела. Второй участок характеризует упругую работу элемента с трещиной. Третий участок характеризует неупругую работу элемента с трещиной.

6.2.3.3 Граничной точкой для первой стадии (рис. 6.2.5 а, 6.2.6 а) является момент образования трещин M_1 , определяемый по формуле:

$$M_1 = R_{bt} \cdot W_{b,red}, \quad (6.2.10)$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению;

W_b – момент сопротивления приведенного сечения, определяемый по формуле:

$$W_{b,red} = \frac{I_{red}}{y_t}, \quad (6.2.11)$$

где I_{red} – момент инерции приведенного сечения относительно центральной оси;

y_t – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до наиболее растянутого волокна.

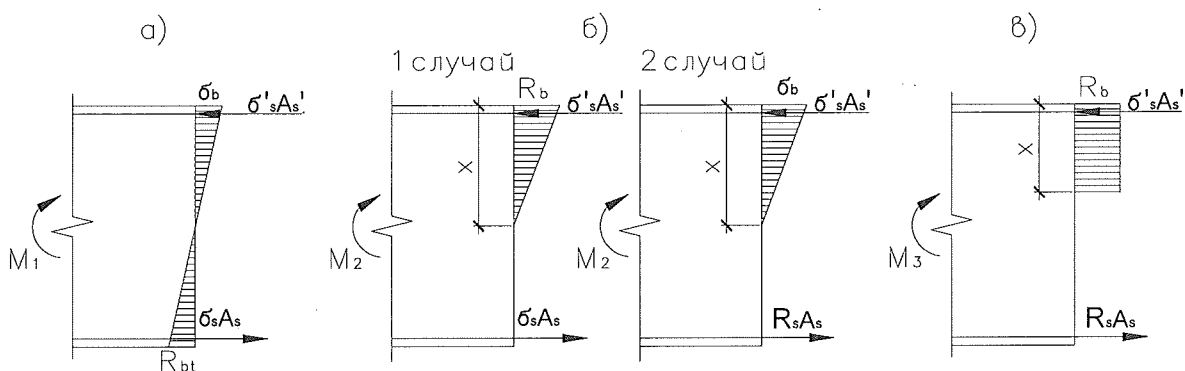


Рис. 6.2.5. Схема напряженного состояния изгибаемого железобетонного элемента:

а) 1-я стадия; б) 2-я стадия; в) 3-я стадия

6.2.3.4 Граничной точкой второй стадии является достижение напряжениями в сжатой зоне бетона расчетного сопротивления бетона сжатию R_b , а деформации равны $\varepsilon_{b,el}$; либо напряжениями в растянутой арматуре достигают расчетного сопротивления арматуры растяжению R_s и деформации равны $\varepsilon_{s,el}$ (схемы напряжений и деформаций приведены на рис. 6.2.5 б, 6.2.6 б). Расчет по первому или второму случаю производится в зависимости от соотношения между полученной высотой сжатой зоны и ее предельным значением, при котором одновременно бетон и арматура достигают предельных значений $\varepsilon_{b,el}$ и $\varepsilon_{s,el}$.

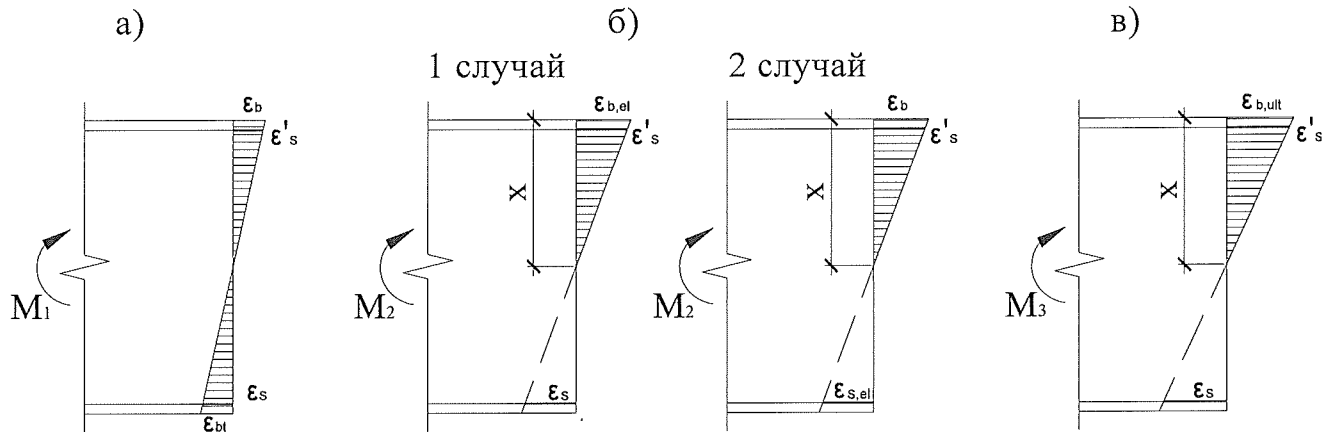


Рис. 6.2.6 Схема деформаций изгибаемого железобетонного элемента:
а) 1-я стадия; б) 2-я стадия; в) 3-я стадия

Предельный момент для первого случая равен:

$$M_2 = \frac{1}{2} R_b \cdot b \cdot x \left(h_0 - \frac{1}{3} x \right) + \sigma'_s A_s' (h_0 - a') \quad (6.2.12)$$

Предельный момент для второго случая равен:

$$M_2 = R_s A_s \left(h_0 - \frac{1}{3} x \right) + \sigma'_s A_s' \left(\frac{x}{3} - a' \right) \quad (6.2.13)$$

Уравнение равновесия продольных сил для рассматриваемой стадии запишется в виде:

$$\frac{1}{2} \sigma_b b x = \sigma_s A_s, \quad (6.2.14)$$

где σ_b - напряжения в вершине сжатой зоны бетона.

Выражая напряжения в бетоне сжатой зоны и в растянутой арматуре через деформации:

$$\sigma_b = E_b \varepsilon_b, \quad \sigma_s = E_s \varepsilon_s, \quad (6.2.15)$$

а соотношение между деформациями бетона и арматуры через линейную зависимость распределения деформаций по нормальному сечению

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_s} = \frac{x}{h_o - x}, \quad (6.2.16)$$

получаем квадратное уравнение относительно высоты сжатой зоны x :

$$x^2 + 2\alpha\mu_s h_o x - 2\alpha\mu_s h_o^2 = 0, \quad (6.2.17)$$

из которого определяется высота сжатой зоны бетона для 2-ой стадии:

$$x = \left[\sqrt{(\alpha_s \mu_s)^2 + 2\alpha_s \mu_s} - \alpha_s \mu_s \right] h_o, \quad (6.2.18)$$

где $\alpha_s = \frac{E_s}{E_b}$, $\mu_s = \frac{A_s}{bh_o}$.

6.2.3.5 Третья стадия (предельная) характеризуется тем, что напряжения и деформации в сжатой зоне бетона достигают предельных значений R_b и $\varepsilon_{b,ult}$, а напряжения в растянутой арматуре равны расчетному сопротивлению арматуры растяжению R_s .

$$M_3 = R_b \cdot b \cdot x \left(h_o - \frac{1}{2} x \right) + \sigma'_s A'_s (h_o - a'), \quad (6.2.19)$$

а высота сжатой зоны x определяется из условия равенства нулю суммы проекций всех нормальных усилий на ось элемента:

$$x = \frac{R_s A_s - \sigma'_s A'_s}{\frac{1}{2} R_b \cdot b}, \quad (6.2.20)$$

6.2.3.6 Определив стадию работы конструкции до усиления, находятся деформации стальной арматуры из условия линейного распределения деформаций по сечению элемента (гипотеза плоских сечений).

Предельная стадия работы усиленной конструкции характеризуется одновременным достижением крайнего сжатого волокна бетона предельных деформаций сжатия $\varepsilon_{b,2}=0,0035$, а наклеенного углехолста FibARM - деформаций растяжения $\varepsilon_{f,u}$. Деформации стальной арматуры, отвечающие предельной стадии работы конструкции, находятся из условия линейного распределения деформаций по высоте сечения.

6.2.3.7 Полные деформации арматуры (рис. 6.2.7) получаются суммированием деформаций, отвечающих предельной стадии и деформаций, достигнутых стальной арматурой до усиления и определяемых в соответствии с п.6.2.3.6.

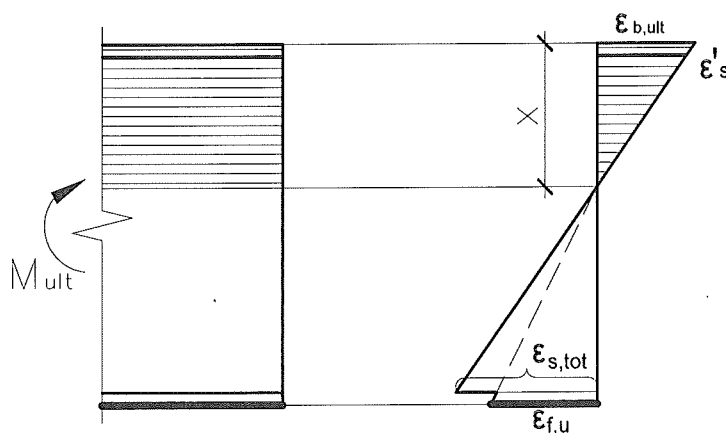


Рис. 6.2.7 Деформации элемента, усиленного углехолстом, в предельной стадии с учетом этапности нагружения

6.2.4 Расчет по прочности нормальных сечений на основе нелинейной деформационной модели

6.2.4.1 Расчет прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента, по деформационной модели проводится в соответствии с {п.п. 6.2.21 - 6.2.41 [2]}, дополненных следующими положениями:

- распределение деформаций бетона, стальной арматуры и СВА из полимерных композитов FibARM по высоте сечения принимается линейной;

- связь между напряжениями и деформациями бетона и стальной арматуры принимается в виде двухлинейных диаграмм состояния согласно п.5.1.19 [2] при учете п. 5.1-5.2 настоящего стандарта;

- связь между напряжениями и деформациями СВА из полимерных композитов FibARM принимается - по линейной зависимости по закону Гука.

- связь бетона и СВА принимается жесткой; после усиления вплоть до наступления предельного состояния сохраняются условия совместности деформаций;

- учитывается напряженно-деформированное состояние (НДС) элемента до усиления.

6.2.4.2 В случае двухэтапного расчета усиленной конструкции согласно п. 6.1.4 на первом этапе определяется НДС конструкции до усиления, и при необходимости, её несущей способности;

На втором этапе определяется НДС и несущая способность конструкции после усиления.

6.2.4.3 Расчет равнодействующих внутренних усилий осуществляется численным интегрированием эпюры напряжений в нормальном сечении элемента. Для этого сечение разбивается на малые по высоте полосы (см. рис. 6.2.8). Расчетная схема деформационной модели представлена на рис. 6.2.9

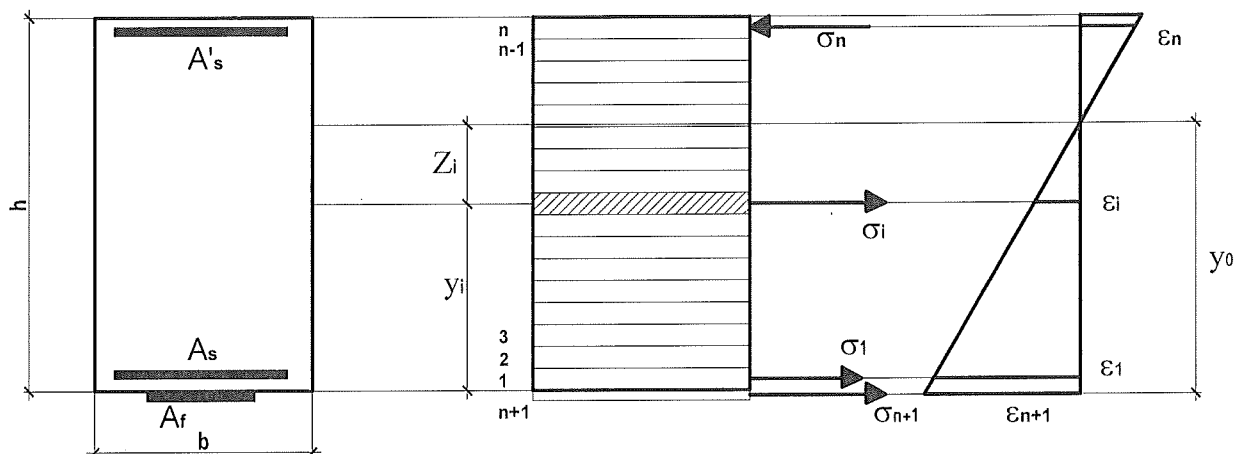


Рис. 6.2.8. Эпюры распределения деформаций и напряжений по высоте сечения

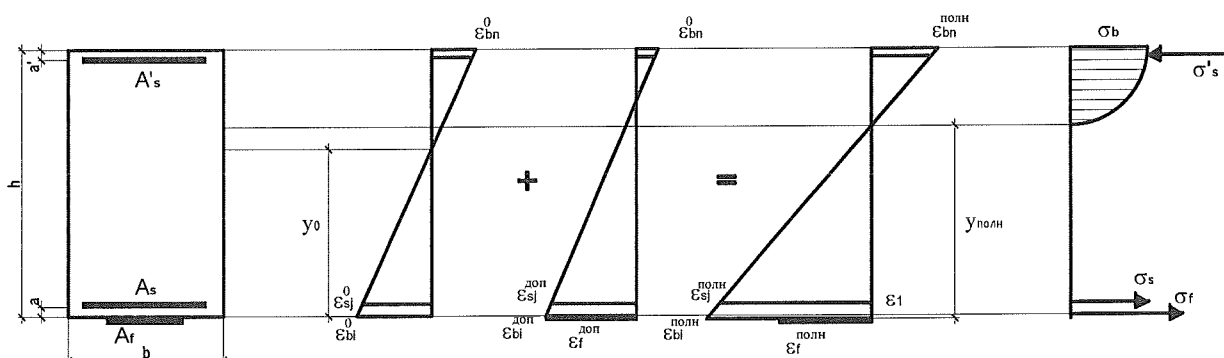


Рис. 6.2.9. Расчетная схема деформационной модели

Расчет изгибаемых элементов

6.2.4.4 Для изгибаемых в плоскости симметрии поперечного сечения железобетонных элементов, и расположения оси X в этой плоскости, уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в нормальном сечении железобетонного элемента могут быть преобразованы следующим образом:

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} \quad (6.2.21)$$

Кривизна элемента:

$$\frac{1}{r_x} = \frac{\varepsilon_{bi}}{Z_{bxi}} = \frac{\varepsilon_{sj}}{Z_{sxj}} = \frac{\varepsilon_{fk}}{Z_{fxk}} \quad (6.2.22)$$

Жесткостные характеристики нормального сечения D_{ij} в общем случае следует определять по формулам:

$$D_{11} = \sum_i A_{bi} Z_{bxi}^2 E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj}^2 E_{sj} v_{sj} + \sum_k A_{fk} Z_{fxk}^2 E_{fk} ; \quad (6.2.23)$$

$$D_{33} = \sum_i A_{bi} E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} E_{sj} v_{sj} + \sum_k A_{fk} E_{fk} ,$$

где значения коэффициентов упругости v_{bi} , v_{sj} определяют из соотношения значений напряжений и деформаций в рассматриваемых точках соответствующих диаграмм состояния материалов, деленных на модуль упругости материала:

$$v_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_{b,red} \varepsilon_{bi}} ; \quad (6.2.24)$$

$$v_{sj} = \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj} \varepsilon_{sj}} \quad (6.2.25)$$

6.2.4.5 На первом этапе расчета задается некоторый шаг по приращению изгибающего момента. На каждом шаге определяется координата центра тяжести сечения y_0 :

$$y_0 = \frac{\sum_i A_{bi} y_i E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} y_j E_{sj} v_{sj}}{D_{33}} \quad (6.2.26)$$

В матрице D_{33} последнее слагаемое $\sum_k A_{fk} E_{fk}$ принимается равным нулю.

Деформации каждого волокна сечения определяют исходя из равновесия сечения и совместности деформаций волокон при возрастающем внешнем моменте:

$$\varepsilon_{bi}^0 = M_x \frac{Z_{bxi}^0}{D_{11}} , \quad \text{где } Z_{bxi}^0 = y_0 - y_i ; \quad (6.2.27)$$

$$\varepsilon_{sj}^0 = M_x \frac{Z_{sxj}^0}{D_{11}} \quad \text{где } Z_{sxj}^0 = y_0 - y_j \quad (6.2.28)$$

В матрице D_{11} последнее слагаемое $\sum_k A_{fk} Z_{fxk}^2 E_{fk}$ на первом этапе принимается равным нулю.

Модули упругости бетона и стали и, соответственно, координата центра тяжести сечения, являются переменными величинами, зависящими от уровня нагружения. Значения y_0 , E_b и E_s

для каждого этапа погружения уточняются в ходе итерационного процесса, используя соответствующие величины коэффициентов упругости.

Условие сходимости итерационного процесса выполняется по кривизне элемента $\frac{1}{r_x}$.

6.2.4.6 Повторяя расчет и уточняя значения секущих модулей деформаций, в каждом сечении элемента определяем НДС, соответствующее заданной нагрузке. Найденные значения деформаций в каждом волокне на втором этапе (после усиления) рассматриваются как начальные.

6.2.4.7 На втором этапе расчета вводится слой СВА из полимерных композитов FibARM.

Для изгибаемых элементов влияние начального напряженно-деформированного состояния учитывается с использованием принципа суперпозиции. Элемент конструкции в общем случае до проведения усиления находится под нагрузкой и имеет некоторые деформации ε^0 , определенные на первом этапе расчета. Деформации в основном сечении после усиления находятся как сумма независимых деформаций от нагрузки до усиления и дополнительных деформаций:

$$\varepsilon^{\text{полн}} = \varepsilon^0 + \varepsilon^{\text{доп}} \quad (6.2.29)$$

6.2.4.8 Исходя из предположения о жестком контакте внешней арматуры и бетона основного сечения, условие деформирования внешней арматуры под расчетной нагрузкой имеет вид:

$$\varepsilon_f^{\text{полн}} = \varepsilon_b^{\text{доп}} \quad (6.2.30)$$

где $\varepsilon_b^{\text{доп}}$ - дополнительная деформация крайнего растянутого волокна бетона.

В расчете деформаций координаты слоя СВА по высоте для простоты и ввиду малой толщины (обычно порядка 1-2 мм) принимают равными координате крайнего растянутого волокна бетона.

Полный момент, воспринимаемый сечением после усиления:

$$M_{\text{полн}} = M_0 + M_{\text{доп}}, \quad (6.2.31)$$

где $M_0 = M_x$ - начальный изгибающий момент, равный действующему моменту на первом этапе.

6.2.4.9 Деформированное состояние изгибаемого элемента можно однозначно охарактеризовать кривизной и координатой центра тяжести сечения:

$$\frac{1}{r_x^0} = \frac{\varepsilon_{bi}^0}{Z_{bxi}^0} = \frac{\varepsilon_{sj}^0}{Z_{sxj}^0} \quad (6.2.32)$$

Значение кривизны на первом шаге расчета усиленного сечения принимается равным кривизне элемента конструкции до усиления $\frac{1}{r_x^{\text{полн}}} = \frac{1}{r_x^0}$, поскольку вес всей системы усиления незначителен и не оказывает влияния на напряженно-деформированное состояние конструкции.

Далее при расчете на действие дополнительного момента $M_{\text{доп}}$, определяем координату $Y_{\text{полн}}$ положения нейтральной оси и деформации в бетоне, стальной арматуре и арматуре усиления:

$$Y_{\text{полн}} = \frac{\sum_i A_{bi} y_i E_b \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} y_j E_{sj} \nu_{sj} + \sum_k A_{fk} y_k E_{fk}}{D_{33}} \quad (6.2.33)$$

$$\varepsilon_{bi}^{\text{полн}} = \varepsilon_{bi}^0 + M_x \frac{Z_{bxi}^0}{D_{11}}, \quad \text{где } Z_{bxi}^{\text{полн}} = Y_{\text{полн}} - y_i; \quad (6.2.34)$$

$$\varepsilon_{sj}^{\text{полн}} = \varepsilon_{sj}^0 + M_{\text{доп}} \frac{Z_{sxj}^{\text{полн}}}{D_{11}} \quad \text{где } Z_{sxj}^{\text{полн}} = Y_{\text{полн}} - y_j; \quad (6.2.35)$$

$$\varepsilon_f^{\text{полн}} = M_{\text{доп}} \frac{Z_{fxk}^{\text{полн}}}{D_{11}} \quad \text{где } Z_{fxk}^{\text{полн}} = Y_{\text{полн}} - y_k \quad (6.2.36)$$

На этом этапе расчета в матрицы жесткости D_{33} и D_{11} теперь входят слагаемые от внешней арматуры.

Дальнейший расчет с уточнением модуля деформаций усиленного сечения практически не отличается от расчета конструкции без усиления (по аналогии с разделами 6.2.4.4-6.2.4.6 настоящего стандарта).

6.2.4.10 Расчет нормальных сечений железобетонных элементов по прочности производят из условий:

$$|\varepsilon_{b,\text{max}}| \leq \varepsilon_{b,\text{ult}} \quad (6.2.37)$$

$$|\varepsilon_{s,\text{max}}| \leq \varepsilon_{s,\text{ult}} \quad (6.2.38)$$

$$|\varepsilon_{f,\text{max}}| \leq \varepsilon_{f,\text{ult}} \quad (6.2.39)$$

Значения предельных деформаций бетона и арматуры $\varepsilon_{b,\text{ult}}$ и $\varepsilon_{s,\text{ult}}$ принимают согласно (п. 6.2.25 и 6.2.41 [2]).

Для изгибаемых элементов, в которых не допускаются трещины, учет работы растянутого бетона элемента осуществляют с использованием условия:

$$|\varepsilon_{bt,max}| \leq \varepsilon_{bt,ult} \quad (6.2.40)$$

$\varepsilon_{bt,ult}$ - определяется согласно {п. 6.2.40 [2]}.

6.2.4.11 Значения предельных деформаций внешнего армирования $\varepsilon_{f,ult}$ следует принимать не более:

$$\varepsilon_{f,ult} \leq \varepsilon_{fu}, \quad (6.2.41)$$

где ε_{fu} , - предельная деформация растяжения СВА с учетом коэффициента условий работы и отслаивания, определяемая по формуле 6.1.4;

6.2.4.12 В результате расчета по предложенной методике определяется несущая способность исходной и усиленной конструкции, а также деформации и напряжения в материалах на любом этапе загрузки.

Подбор сечения внешнего армирования из полимерных композитов FibARM производится методом подстановки в исходные данные для расчета такой площади сечения СВА, которая обеспечит прочность сечения при заданном внешнем моменте.

Расчет внецентренно сжатых элементов

6.2.4.13 Для сжато изгибаемых элементов, усиленных системой внешнего армирования из композитных материалов, на которые действуют изгибающие моменты двух направлений и продольная сила, уравнения равновесия в нормальном сечении могут быть преобразованы следующим образом:

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} + D_{12} \frac{1}{r_y} \quad (6.2.42)$$

$$M_y = D_{12} \frac{1}{r_x} + D_{22} \frac{1}{r_y} \quad (6.2.43)$$

$$N = D_{13} \frac{1}{r_x} + D_{23} \frac{1}{r_y} \quad (6.2.44)$$

Жесткостные характеристики нормального сечения D_{22} , D_{12} , D_{13} следует определять по формулам:

$$D_{22} = \sum_i A_{bi} Z_{byi}^2 E_b \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{syj}^2 E_{sj} \nu_{sj} + \sum_k A_{fk} Z_{fyk}^2 E_{fk}; \quad (6.2.45)$$

$$D_{12} = \sum_i A_{bi} Z_{bxi} Z_{byi} E_b \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj} Z_{syj} E_{sj} \nu_{sj} + \sum_k A_{fk} Z_{fxk} Z_{fyk} E_{fk} \quad (6.2.46)$$

$$D_{13} = \sum_i A_{bi} Z_{bxi} E_b \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj} E_{sj} \nu_{sj} + \sum_k A_{fk} Z_{fxk} E_{fk} \quad (6.2.47)$$

6.2.5 Расчет прочности сечений, наклонных к продольной оси изгибаемого элемента

6.2.5.1 Усиление наклонных к продольной оси сечений изгибаемых железобетонных элементов достигается путем наклеивания системы внешнего армирования из полимерных композитов FibARM в поперечном направлении к оси элемента или перпендикулярно потенциальным трещинам в опорном сечении.

Вклад системы внешнего армирования из полимерных композитов FibARM в увеличение прочности на сдвиг элемента основан на работе фибры соответствующего направления по отношению к предполагаемой траектории трещины.

6.2.5.2 Наклеивание СВА при усилении наклонных к продольной оси сечений производится в виде двух и трехсторонних хомутов («П»-образное), а также в виде общего обертывания, охватывающего все сечение железобетонного элемента (см. рис. 6.2.10).

6.2.5.3 В целом расчет по прочности наклонных сечений железобетонных элементов, усиленных внешним армированием, производится согласно п.п. 6.2.32-6.2.35 [2] с учетом работы хомутов СВА FibARM.

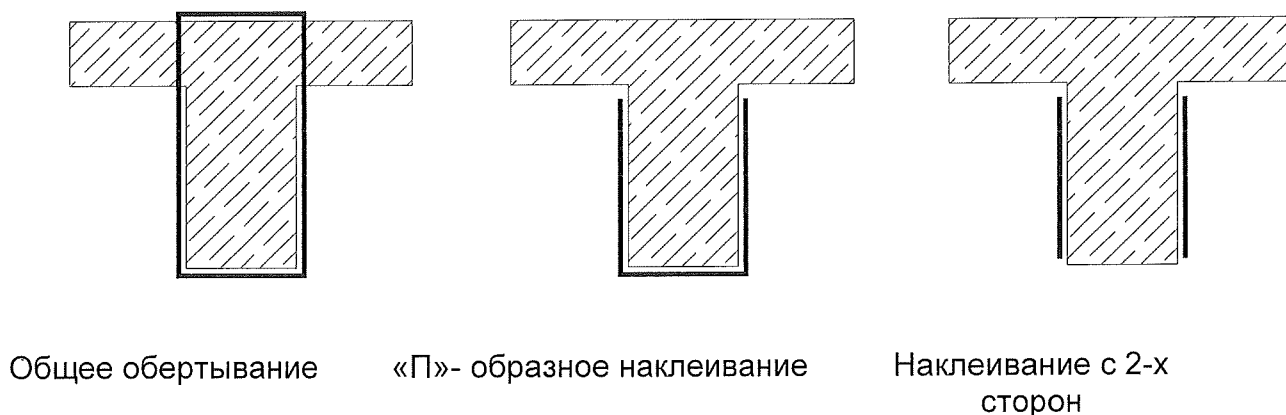


Рис. 6.2.10. Схемы наклейки СВА FibARM при усилении наклонных сечений

Рисунок 6.2.11 иллюстрирует параметры, которые используются для вычисления прочности наклонных сечений с учетом СВА.

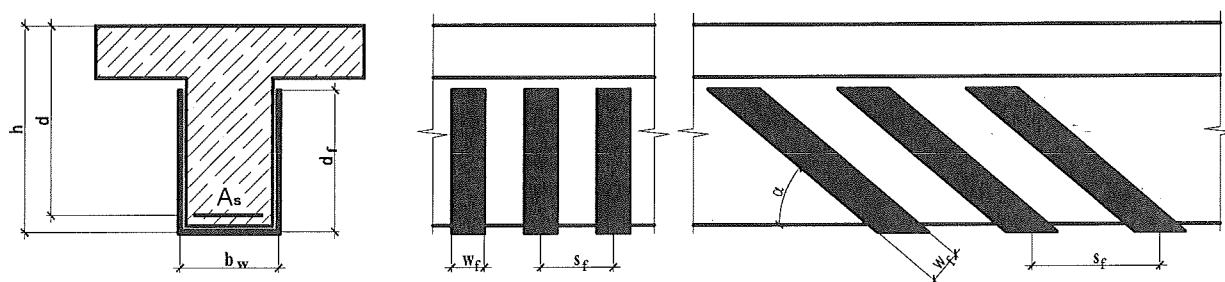


Рис. 6.2.11. Размещение СВА FibARM хомутов для усиления наклонных сечений

6.2.5.4 Расчет по прочности наклонных сечений железобетонных элементов, усиленных СВА FibARM, производится на действие поперечных сил по наклонной полосе между трещинами, по наклонной трещине и на действие изгибающего момента по наклонной трещине.

При этом учитывается наиболее опасное нагружение в пределах наклонного сечения.

6.2.5.5 Работа системы внешнего армирования при расчете по прочности наклонных сечений по наклонной полосе между трещинами не учитывается.

6.2.5.6 Расчет усиленных железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил производится из условия:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_f,$$

где Q - поперечная сила в наклонном сечении с длиной проекции c на продольную ось элемента, определяемая от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого наклонного сечения;

Q_b , Q_{sw} , Q_f - поперечные силы, воспринимаемые бетоном, поперечной арматурой, поперечной СВА из полимерных композитов FibARM в наклонном сечении соответственно.

Поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении определяется по формуле 6.67 [2]:

$$Q_b = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c} \quad (6.2.48)$$

При этом Q_b принимается равной $0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_b \leq 2,5R_{bt}bh_0$.

Усилие Q_{sw} для поперечной арматуры, нормальной к продольной оси элемента, определяется по формуле:

$$Q_{sw} = 0,75q_{sw}c, \quad (6.2.49)$$

q_{sw} - усилие в поперечной арматуре на единицу длины элемента:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s_w} \quad (6.2.50)$$

Расчет производится для ряда расположенных по длине элемента наклонных сечений при наиболее опасной длине проекции наклонного сечения c . При этом длину c принимают $c \leq 2h_0$.

Усилие Q_f для поперечно направленного внешнего армирования из полимерных композитов, определяется по формуле:

$$Q_f = \psi_f \frac{A_{f,sh}\sigma_{fu}}{s_f} c, \quad (6.2.51)$$

где $c \leq 2d_f$;

$$A_{f,sh} = 2nt_f w_f$$

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

Коэффициент ψ_f , зависящий от схемы наклейки СВА, для полностью обернутых сечений принимается равным 0,95; для трехсторонних «П»-образных хомутов или приклеенных к наружной поверхности слоев – 0,85.

В случае наклеивания хомутов внешнего армирования под углом α к продольной оси железобетонного элемента усилие Q_f определяется по формуле:

$$Q_f = \psi_f \frac{A_{f,sh}\sigma_{fu} \sin \alpha}{s_f} c \quad (6.2.52)$$

Максимальная расчетная деформация СВА определяется в зависимости от схемы наклейки:

$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75\varepsilon_{ft}$ - для системы внешнего армирования, охватывающей все сечение железобетонных изгибаемых элементов (вкруговую);

$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{ft} \leq 0,004$ - для системы внешнего армирования, не охватывающей все сечение железобетонных изгибаемых элементов (двух и трехсторонние хомуты);

Коэффициент запаса по сцеплению k_v определяется по формуле:

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_f}{11900 \varepsilon_{ft}} \leq 0,75, \quad (6.2.53)$$

где L_f - эффективная длина анкеровки, определяемая по формуле 6.2.9;

$$k_1 = \left(\frac{R_b}{27} \right)^{\frac{2}{3}} - \text{коэффициент, учитывающий прочность бетона}$$

элемента, R_b в МПа;

k_2 - коэффициент, учитывающий схему наклейки:

$$\text{- для трехсторонних (П-образных) хомутов} \quad k_2 = \frac{d_f - L_f}{d_f};$$

$$\text{- для двухсторонних хомутов} \quad k_2 = \frac{d_f - 2L_f}{d_f};$$

6.2.5.7 Расчет усиленных железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие изгибающего момента по наклонной трещине производится из условия:

$$M \leq M_s + M_{sw} + M_f, \quad (6.2.54)$$

где M - изгибающий 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;

M_b , M_{sw} , M_f - изгибающие моменты, воспринимаемые продольной, поперечной арматурой, поперечной СВА из полимерных композитов FibARM, пересекающие наклонное сечение соответственно:

$$M_s = N_s z_s; \quad (6.2.55)$$

$$M_{sw} = 0,5 Q_{sw} c; \quad (6.2.56)$$

$$M_f = 0,5 Q_f c \quad (6.2.57)$$

6.3 Расчет по предельным состояниям второй группы

6.3.1 Расчет по образованию трещин

6.3.1.1 Расчет по образованию трещин для усиленных железобетонных элементов следует производить в соответствии с общими указаниями {п.п. 7.2.1-7.2.11 [2]} с учетом работы СВА из полимерных композитов FibARM.

6.3.1.2 Момент инерции приведенного сечения определяется по формуле:

$$I_{red} = I + I_s \alpha + I'_s \alpha + I_f \alpha_f \quad (6.3.1)$$

Площадь приведенного поперечного сечения элемента A_{red} определяется по формуле:

$$A_{red} = A + A_s \alpha + A'_s \alpha + A_f \alpha_f \quad (6.3.2)$$

$$\alpha_f = \frac{E_f}{E_b} \quad (6.3.3)$$

6.3.1.3 При определении момента образования трещин на основе нелинейной деформационной модели, приведённой в разделе 6.2.4 настоящего стандарта, нужно учитывать работу бетона в растянутой зоне нормального сечения.

6.3.2 Расчет по раскрытию трещин

6.3.2.1 Расчет по раскрытию трещин для усиленных СВА элементов следует проводить в соответствии с указаниями {п.п. 7.2.12 - 7.2.15 [2]} с некоторыми изменениями, указанными ниже.

6.3.2.2 Значение коэффициента приведения внешней арматуры к бетону α_{f1} определяют по формуле:

$$\alpha_{f1} = \frac{E_f}{E_{b,red}} \quad (6.3.4)$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения элемента I_{red} относительно его центра тяжести {п. 7.2.13 [2]} определяют с учетом площади сечения бетона сжатой зоны, площади сечения сжатой и растянутой стальной арматуры с коэффициентом приведения арматуры к бетону α_{s1} и арматуры СВА с коэффициентом приведения арматуры к бетону α_{f1} :

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s1} + I'_s \alpha_{s1} + I_f \alpha_{f1} \quad (6.3.5)$$

6.3.3 Расчет по деформациям

6.3.3.1 Расчет усиленных СВА из полимерных композитов элементов по деформациям следует проводить в соответствии с общими указаниями {п. 7.3 [2]}.

6.3.3.2 Жесткость усиленного СВА FibARM железобетонного элемента на участках без трещин в растянутой зоне определяют согласно {п. 7.3.10 [2]}.

При этом момент инерции приведенного поперечного сечения элемента I_{red} относительно его центра тяжести определяют учетом площади сечения бетона сжатой зоны, площади сечения сжатой и растянутой стальной арматуры с коэффициентом приведения арматуры к бетону α и СВА из полимерных композитов FibARM с коэффициентом приведения арматуры к бетону α_f' :

$$\alpha_f' = \frac{E_f}{E_{b1}} \quad (6.3.6)$$

6.3.3.3 При использовании нелинейной деформационной модели полную кривизну сечения на участках без трещин в растянутой зоне усиленного сечения определяют по выражению {(7.28) [2]}.

Значения кривизны, входящие в выражение {(7.28) [2]} определяют согласно п. 6.2.4.9 настоящего стандарта.

6.3.3.4 Полную кривизну на участках с трещинами в растянутой зоне усиленного сечения рекомендуется определять с помощью нелинейной деформационной модели по выражению {(7.29) [2]}.

Значения кривизны, входящие в выражение {(7.29) [2]} определяют согласно п. 6.2.4.9 настоящего стандарта.

6.3.3.5 Расчет усиленных СВА элементов из полимерных композитов FibARM по прогибам следует проводить в соответствии с {п.п. 7.3.1 - 7.3.6 [2]}, принимая значения кривизны элементов, полученных расчетом в соответствии с п.п. 6.3.3.2 - 6.3.3.4 настоящего стандарта.

7 Устройство внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM

7.1 Общие указания

7.1.1 Работы по устройству внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM должны выполняться строго в соответствии с проектной и технологической документацией и только специализированными организациями.

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

7.1.2 Предусмотренная проектом система распределения внешнего армирования FibARM должна обеспечивать миграцию влаги из тела бетона. Для этого в плитных конструкциях соседние ленты рекомендуется наклеивать с интервалом между ними в свету

не менее 200мм. В случае, если одна из горизонтальных поверхностей плиты является открытой для миграции влаги, то по другой поверхности наклейка лент может выполняться без интервалов. Наклейка продольных лент в балочных элементах должна быть выполнена так, чтобы в каждом поперечном сечении лентами было охвачено не более 50% периметра поперечного сечения усиливаемого элемента балки.

7.1.3 Технологическая операция наклейки усиливающих элементов должна выполняться при температуре окружающей среды от +5°C до +45°C.

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

7.1.5 Устройство внешнего армирования системой FibARM производится в следующей последовательности выполнения технологических операций:

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

7.1.6 Перед наклейкой усиливающих элементов следует в обязательном порядке контролировать температуру и относительную влажность окружающей среды, а также температуру поверхности бетона и его влажность. По температуре и влажности окружающей среды определяют температуру точки росы и сравнивают ее с температурой поверхности бетона.

Температура основания, подготовленного под наклейку усиливающих элементов, должна быть на 3°C выше точки росы и не ниже +12°C. В противном случае возникает опасность выпадения конденсата паров воды из воздуха на усиливаемые поверхности. Как следствие, сцепление адгезива с поверхностью бетона может быть нарушено. Кроме того, может иметь место недостаточное насыщение волокон и низкая степень отверждения смолы.

Также следует учитывать, что с увеличением влажности температура точки росы приближается к температуре окружающей среды, что должно будет приводить к принудительному повышению температуры бетона внешними источниками тепла. Поэтому рекомендуется работы по устройству внешнего армирования производить при относительной влажности окружающей среды не более 80%.

Влажность основания, подготовленного под наклейку, должна удовлетворять требованию п.7.2.14.

7.2 Подготовка поверхности конструкции

7.2.1 Прочность бетона основания на сжатие для колонн должна быть не менее 10МПа, для других конструкций - не менее 15 МПа.

Фактическая прочность бетона конструкции должна быть подтверждена техническим заключением или другим документом заказчика работ и/или экспертной организации. В случае отсутствия настоящих документов, необходимо проведение испытаний прочности бетона конструкции неразрушающим методом.

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

7.2.3 Сколы, раковины, каверны и другие незначительные дефекты должны быть не глубже 5 мм и площадью не более 25 см². Такие дефекты устраняются с помощью быстротвердеющих полимерцементных ремонтных смесей. Выравнивание значительных (более 25 см²) участков поверхности производится с использованием полимерцементных ремонтных составов с наполнителем в виде песка и мелкого щебня.

7.2.4 Непрочные участки основания должны быть удалены.

7.2.5 Поверхность основания должна быть очищена от шпаклевки, краски, масла, жирных пятен, цементной пленки.

Очистка поверхности должна осуществляться пескоструйной обработкой, металлическими щетками или алмазными чашками, с последующим обеспыливанием. Обеспыливание поверхностей производится путем высоконапорной промывки водой под давлением не менее 10 атм.

7.2.6 После удаления непрочных участков и очистки в соответствии с 7.2.2 поверхность основания должна быть выровнена, а локальные геометрические дефекты устранены.

7.2.7 Трещины с раскрытием более 0,3 мм должны быть отремонтированы низковязкими эпоксидными или полиуретановыми составами. Составы инъецируются в трещины через предварительно установленные пакеры.

Трещины с раскрытием не более 0,3 мм допускается затирать полимерцементным раствором.

7.2.8 Сколы, раковины, каверны и другие незначительные дефекты должны быть заполнены полимерцементными ремонтными смесями с быстрым набором прочности.

Заполнение глубоких каверн должно производиться с использованием полимерцементных ремонтных составов с наполнителем в виде крупного песка или мелкого щебня.

7.2.9. При наличии процессов коррозии арматурной стали в бетоне, перед усилением конструкции необходимо обработать бе-

тонную поверхность мигрирующим ингибитором коррозии арматурной стали.

При отделении защитного слоя следует оголить арматуру и обработать её грунтом-преобразователем ржавчины и затем восстановить защитный слой специальными полимерцементными ремонтными составами, обеспечивающими высокую адгезию к «старому» бетону, предотвращение развития коррозии арматуры.

7.2.10 Для улучшения сцепления адгезива с конструкцией поверхность основания должна соответствовать следующим требованиям к шероховатости по ГОСТ 2789-73 [8]:

R_a на базовой длине 8 мм	от 20 до 80 мкм;
R_z на базовой длине 8 мм	от 80 до 320 мкм.

Для обеспечения шероховатости поверхности основания она должна быть обработана каменотесным долотом до обнажения крупного заполнителя и после этого зачищена металлическими щетками или алмазными чашками. Поверхностный слой должен подвергаться обработке только до обнажения на поверхности крупного заполнителя.

7.2.11 До начала устройства внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM поверхность основания в угловых зонах должна быть подготовлена в соответствии с рисунком 7.2.1.

Для этого необходимо:

- на внешних углах – снимать фаску с катетом не менее 25 мм
- на внутренних углах – устраивать галтель с катетом не менее 40 мм.

Галтель на внутренних углах должна быть устроена из ремонтных материалов с адгезией к материалу конструкции не менее 1,5 МПа и прочностью на сжатие не менее 15 МПа.

7.2.12 После очистки поверхность бетона обрабатывается грунтовочным составом с целью упрочнения основания и улучшения сцепления адгезива с бетонной поверхностью.

7.2.13 Грунтовочные и адгезивные составы не допускается наносить на влажную поверхность. Выступающая влага должна быть удалена, поверхность бетона вытерта досуха. Далее поверхность основания должна быть продута сжатым воздухом до достижения влажности основания не более 4-5%.

7.2.14 На поверхность подготовленного основания необходимо нанести мелом линии разметки в соответствии с определенной проектом решением схемой наклейки усиливающих элементов.

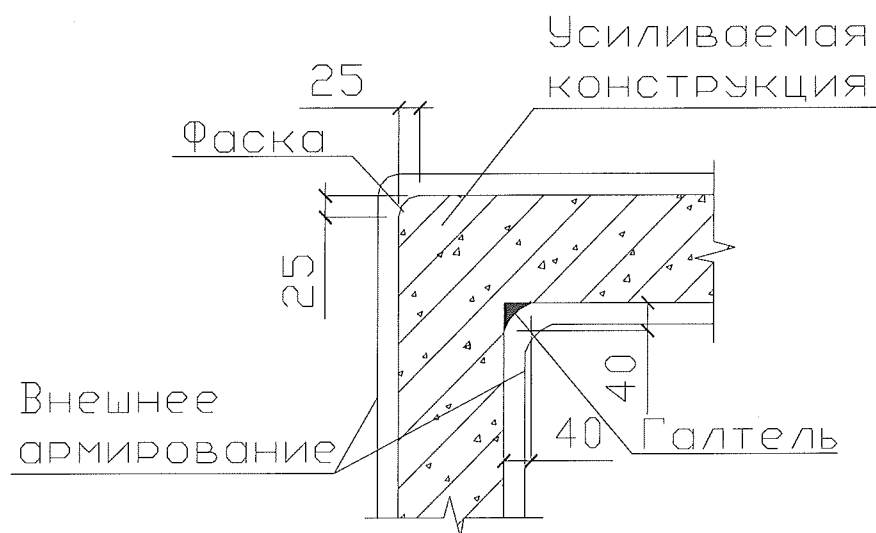


Рис. 7.2.1. Подготовка поверхности основания в угловых зонах

7.3 Подготовка усиливающих элементов

7.3.1 Во избежание повреждения и загрязнения лент все работы необходимо производить в защитных перчатках. Прикасаться к ленте руками не рекомендуется - это может привести к ухудшению адгезии со связующим. Не допускается попадание на ленту песка, воды, пыли, масел, растворителей и иных посторонних веществ.

7.3.2 Подготовка усиливающих элементов должна производиться в заводских условиях или в специальном помещении на стройплощадке и включает в себя раскрой ленты FibARM Tape в соответствии с проектной документацией и упаковку раскроенных элементов.

7.3.3 Раскрой ленты должен осуществляться на гладком столе (верстаке), покрытом полиэтиленовой пленкой. Стол (верстак) должен быть снабжен приспособлением для разматывания ленты с бобины.

Для резки ленты следует использовать ножницы или острый нож.

7.3.4 Ленты должны быть раскроены на заготовки, геометрические размеры и количество которых определяются в соответствии с проектной документацией. Раскроенные заготовки должны быть смотаны в рулон.

К каждому рулону должна быть прикреплена этикетка с указанием номера, размера и количества заготовок. Рулоны помещаются в упаковочную тару.

7.3.5 Во избежание разрушения части волокон и снижения прочности не допускается складывание (перегиб) лент поперек во-

локон. Не допускается разделение ленты на жгутым и повреждение волокна.

7.4 Подготовка адгезива

7.4.1 Подготовка адгезива должна производиться на строительной площадке и включать в себя смешение компонентов А и Б двухкомпонентного эпоксидного состава FibARM Resin. Компоненты А и Б должны смешиваться в соотношении 100:35.

7.4.2 Жизнеспособность адгезива FibARM Resin должна составлять, не менее:

40 минут при температуре 25°C;
70 минут при температуре 15°C.

7.4.3 Количество адгезива в одной порции не должно превышать технологические возможности его использования в течение от 15 до 20 минут.

7.4.4 Дозирование компонентов А и Б осуществляется взвешиванием каждого компонента отдельно. Допускается объемное дозирование компонентов.

7.4.5 Смешение компонентов А и Б должно производиться в чистой металлической, фарфоровой, стеклянной или полиэтиленовой емкости объемом не менее 3 литров.

7.4.6 В емкость следует вылить отмеренное количество компонентов А и Б и тщательно перемешать вручную деревянной или алюминиевой лопаткой, либо с помощью низкооборотной дрели с насадкой. Скорость вращения дрели не должна превышать 500 оборотов в минуту (с целью ограничения аэрации смеси).

Перемешивание должно осуществляться не менее 2 минут до образования однородной смеси. Для исключения образования пузырьков воздуха, запрещается при перемешивании поднимать ворошитель из смеси.

Емкость с подготовленным адгезивом следует плотно закрыть крышкой и немедленно передать к месту производства работ.

7.5 Наклейка усиливающих элементов

7.5.1 Наклейка усиливающих элементов должна включать в себя выполнение следующих видов работ:

- нанесение на подготовленное основание слоя подготовленного адгезива FibARM Resin;
- укладку подготовленных усиливающих элементов;
- прикатку усиливающих элементов к основанию;

– нанесение на поверхность усиливающих элементов финишного слоя подготовленного адгезива FibARM Resin.

7.5.2 Адгезив FibARM Resin следует наносить шпателем тонким равномерным слоем на подготовленное для наклейки основание. Первый слой адгезива наносят на основание в количестве от 0,9 до 1,5 кг/м².

7.5.3 Ориентация волокон каждого усиливающего элемента должна соответствовать принятому проектному решению. Отклонение волокон от принятого проектного решения не должно превышать 5°.

7.5.4 Усиливающие элементы, подготовленные в соответствии с 5.2, необходимо укладывать на слой нанесенного адгезива путем их прижатия и разглаживания тыльной стороной руки (в перчатке) 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.

Усиливающие элементы должны укладываться с натяжением. Образование складок и перекосов волокон не допускается.

7.5.5 При устройстве системы внешнего армирования FibARM допускается применение неподготовленных усиливающих элементов. В этом случае углеродные ленты FibARM Tape следует постепенно разматывать с бобины и обрезать по месту в процессе наклейки.

7.5.6 После укладки усиливающего элемента требуется осуществить его прикатку, в процессе которой происходит его пропитка.

Прикатка осуществляется с помощью жесткого резинового валика или шпателя от центра к краям строго в направлении вдоль волокон. Прикатка в направлении поперек волокон не допускается.

После прикатки и пропитывания усиливающий элемент должен быть слегка липким на ощупь, но без явно видимого присутствия адгезива. Излишки адгезива удаляются до начала отверждения.

7.5.7 При устройстве системы внешнего армирования FibARM, состоящей из нескольких слоев, следует:

– перед укладкой второго слоя усиливающих элементов на пропитанные и прикатанные усиливающие элементы первого слоя равномерно нанести адгезив в количестве от 0,5 до 1,0 кг/м²;

– укладку и прикатку второго слоя и последующих слоев следует производить в соответствии с 7.5.4, 7.5.6.

– нанесение адгезива, укладку и прикатку последующих слоев следует производить аналогичным образом.

7.5.8 При невозможности соблюдения указаний п. 7.5.9 следует выполнить наклейку одного слоя по всей площади усиления, до-

ждать его отверждения, после чего таким же образом наклеить второй и последующие слои.

Также может быть рекомендован и так называемый "мокрый" способ наклейки, при котором пропитка ткани связующим осуществляется предварительно на столе, после чего приклеивается уже пропитанная ткань по слою адгезива, предварительно нанесенного на бетонную поверхность.

7.5.9 При устройстве внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM в соответствии с 7.5.6 и недостаточной длине ленты FibARM Tape, допускается выполнение усиливающих элементов, составленных из нескольких лент, при условии их перехлеста. Длина перехлеста для каждого вида лент должна указываться в проектом решении. Зоны нахлестки соседних лент следует располагать вразбежку на расстоянии не менее 400мм.

7.5.10 После укладки последнего слоя системы внешнего армирования FibARM на его поверхность необходимо нанести финишный слой адгезива в количестве 0,5 кг/м².

7.5.11 Поверхность финишного слоя адгезива сразу же после его нанесения следует присыпать мелким сухим песком фракцией от 0,5 до 1,0 мм.

7.5.12 Полное отверждение полимерного композитного материала системы внешнего армирования FibARM, состоящего из терморезактивного адгезива FibARM Resin и армирующего наполнителя FibARM Tape по данным изготовителя достигается в течение, не менее:

24 часов при температуре выше 20°C;
36 часов при температуре от +5°C до +20°C.

7.5.13 При устройстве внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM, состоящей из нескольких слоев, ориентированных в двух направлениях, технологическая операция наклейки усиливающих элементов должна включать в себя выполнение следующих видов работ:

- нанесение на подготовленное основание в первом направлении слоя подготовленного адгезива FibARM Resin;
- укладку подготовленных усиливающих элементов в первом направлении;
- прикатку усиливающих элементов к основанию;
- нанесение на подготовленное основание во втором направлении слоя подготовленного адгезива FibARM Resin;
- укладку подготовленных усиливающих элементов во втором направлении;
- прикатку усиливающих элементов к основанию;

– нанесение на поверхность верхнего слоя усиливающих элементов финишного слоя подготовленного адгезива FibARM Resin.

Работы повторяются до достижения необходимого количества слоев в соответствии с проектным решением.

7.5.14 При устройстве внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM по 7.5.7 перерыв между наклейкой слоев не должен превышать времени жизнеспособности адгезива.

7.5.15 При устройстве внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM по 7.5.7 наклейку усиливающих элементов всех слоев системы рекомендуется выполнить в течение одной рабочей смены с последующим отверждением всего сечения.

7.5.16 При устройстве внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM на потолочной или вертикальной поверхности, наклейка более 2-х слоев усиливающих элементов в течение одной рабочей смены не допускается и слой адгезива на второй слой усиливающих элементов не наносится.

7.6 Защита внешнего армирования

7.6.1. После полного отверждения всех слоев системы FibARM, состоящих из пропитанных и прикатанных усиливающих элементов, на поверхность системы кистью наносится защитное полимерцементное покрытие.

Состав и объемное содержание защитного полимерцементного покрытия:

Портландцемент М-500	1 л;
Песок кварцевый мелкий	0,4 л;
(модуль крупности 1,5-2,0 по ГОСТ 8736-93 [11])	
J-40 (Примал)	0,15 л;
Вода	0,25 л.

7.6.2 Защитное покрытие наносят в 1 слой. Защитное покрытие наносят на поверхность отвержденной системы в количестве от 1,0 до 2,0 кг/м². Рекомендуется защитное покрытие наносить в направлении раскатки последнего слоя системы FibARM.

8 Контроль качества

8.1 При производстве работ по усилению железобетонных конструкций системой FibARM следует соблюдать требования настоя-

щего СТО. Соблюдение требований СТО обеспечивается входным, операционным и приемочным контролем.

Требования к входному, операционному и приемочному контролю углеродных лент и компонентов для приготовления адгезива могут уточняться для каждого конкретного проекта усиления.

8.2. Входной контроль

8.2.1. Входной контроль распространяется на все используемые при производстве работ материалы и соотносится с требованиями ГОСТ 24297-87 [9]. До начала работ проверяется наличие сопроводительной документации, производится осмотр состояния упаковок и внешнего вида материалов, проверяется их вес.

8.2.2 Материалы, применяемые для устройства внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM, должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов, иметь сопроводительную документацию, подтверждающую их соответствие нормативным требованиям, включая документы о качестве.

8.2.3 Углеродные ленты и компоненты для приготовления адгезива поставляются партиями. Партией считается количество материала одного назначения, изготовленное по одному технологическому режиму из сырья с однородными свойствами и оформленное одним документом о качестве.

8.2.4 Документ о качестве должен содержать следующие данные:

- наименование предприятия-изготовителя;
- дата изготовления материала и дата оформления документа о качестве;
- номер партии;
- наименование продукции;
- количество упаковочных мест;
- результаты испытаний;
- допустимый срок хранения;
- штамп и подпись отдела контроля качества предприятия-изготовителя.

8.2.5 Перед приготовлением связующего проверяется наличие сопроводительной документации и качество упаковки компонентов.

8.2.6 Фактический срок хранения материалов не должен превышать допустимый по паспорту. Заводская упаковка не должна иметь повреждений. Хранение упаковок производится в закрытых от попадания прямых солнечных лучей помещениях при температуре от +5°C до +35°C.

8.3. Операционный контроль

8.3.1 Все технологические операции по устройству внешнего армирования строительных конструкций системой FibARM должны осуществляться и контролироваться в соответствии с требованиями настоящим стандартом.

8.3.2 Перед наклейкой усиливающих элементов осуществляется контроль подготовленного основания в соответствии с требованиями раздела 7.2.

8.3.3 Контроль подготовленного основания осуществляется не менее чем через сутки после завершения ремонтных работ. Внешний вид поверхности основания (отсутствие загрязнений, масляных пятен, мелких неровностей и др.) оценивается визуально, неплоскостность – с помощью металлической линейки по ГОСТ 427-75 [7] и щупа.

8.3.4 Прочность бетона основания определяется одним из методов неразрушающего контроля прочности в соответствии с ГОСТ 22690-88 [12] или ультразвуковым методом в соответствии с ГОСТ 17624-87 [13].

8.3.5 В процессе приготовления адгезива визуально контролируются:

- точность дозирования компонентов А и Б;
- однородность массы связующего после перемешивания;
- отсутствие посторонних включений и сгустков.

8.3.6 При нанесении адгезива на подготовленное основание контролируются визуально и по весовому расходу:

- толщина и равномерность слоя;
- отсутствие непокрытых участков и складок;
- ориентация волокон усиливающих элементов.

8.3.7 В процессе наклейки лент и отверждения измеряется относительная влажность воздуха и температура окружающей среды, влажность и температура на поверхности бетона. Периодичность измерения определяется в соответствии с проектным решением.

8.4 Приемочный контроль

8.4.1 После полного отверждения полимерного композитного материала системы FibARM, осуществляется визуальный контроль для выявления внешних дефектов в виде раковин и/или выступающей текстуры армирующего материала.

8.4.2 По результатам контроля производится оценка влияния выявленных дефектов на конструкционную целостность всего усиления. При этом учитывается размер расслоений, их расположение и количество относительно общей площади усиливающего элемента.

Допускаются расслоения общей площадью каждое менее 10 см², а суммарная площадь расслоений должна быть менее 3% общей площади усиления.

Расслоения площадью более 10 см² должны быть исправлены путем вырезания поврежденных зон и наклейки новых усиливающих элементов с соответствующим количеством слоев при соблюдении следующих условий:

- устанавливаются равнопрочные заплатки;
- выдерживается проектное значение нахлеста заплаток по усиливающим элементам.

8.4.3. Оценка качества наносимого защитного покрытия производится визуально и по весовому расходу. При этом оценивается толщина и равномерность слоя, а также отсутствие непокрытых участков. Непокрытые участки, а также недостаточно покрытые участки (через защитное покрытие заметно углеродное волокно ленты) не допускаются и по ним должно быть нанесено дополнительное защитное покрытие.

8.4.4. Необходимо также убедиться, что защитное покрытие является светлым и надежно защищает систему усиления от солнечных лучей и атмосферных осадков.

8.4.5. Результаты входного, операционного и приемочного контроля заносятся в сопроводительную документацию производства работ.

9 Безопасность труда

9.1 При обработке и подготовке поверхностей под наклейку следует использовать респираторы. Также респираторы необходимы при работе с углеродными лентами FibARM 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.

9.2 Готовый адгезив может вызывать раздражение кожи рук. Перед началом работы следует обрабатывать руки и открытые участки кожи защитным кремом. Обязательно следует носить спецодежду, а также резиновые перчатки и защитные очки. При попадании в глаза и на слизистые оболочки следует тщательно промыть теплой водой и незамедлительно обратиться к врачу.

9.3 Обучение и инструктаж по безопасности труда должен носить непрерывный многоуровневый характер и проводится на строительных площадках по ГОСТ 12.0.004-90 [10]

10 Охрана окружающей среды

10.1 В незатвердевшем виде компоненты А и Б для приготовления адгезива опасны для здоровья и окружающей среды. Поэтому ни при каких условиях они не должны попасть в почву или в водоемы. То же самое относится к вспомогательным химическим составам и компонентам (растворители, краски и др.).

10.2 Все отходы производства, оставшиеся после выполнения усиления (обрезки лент, фрагменты застывшей смолы, тара, упаковка и т.д.), должны быть должным образом утилизированы согласно рекомендаций изготовителя.

11 Гарантии изготовителя и производителя работ

11.1 Изготовитель гарантирует соответствие системы внешнего армирования FibARM требованиям настоящего стандарта при соблюдении общих требований и правил устройства.

11.2 Гарантийный срок эксплуатации железобетонных конструкций усиленных системой FibARM, в течение которого производитель работ обязан устранять обнаруженные потребителем дефекты, устанавливается договором на устройство данной системы.

11.3 Оценочно сроки эксплуатации усиленных конструкций во многом определяются качеством выполненных работ по усилению и условиями эксплуатации конструкций. Поэтому рекомендуется производить постоянный мониторинг состояния выполненного усиления путем визуального контроля. В случае отсутствия видимых дефектов не менее одного раза в 5 лет следует производить плановое обследование усиленных конструкций на предмет установления целостности системы усиления и надежности его совместной работы с бетоном усиленной конструкции по специальной программе обследования.

В случае обнаружения дефектов следует провести внеплановое обследование с установлением причин возникновения дефектов и установлением категории технического состояния усиленных конструкций согласно СП 13-102-2003 [3].

Приложение 1. Примеры расчета.

Пример 1

Исходные данные:

Размеры сечения

$b = 300$ мм;

$h = 700$ мм;

$a = 50$ мм;

$a' = 30$ мм;

Растянутая арматура $3\varnothing 36$ A400

$A_s = 3054$ мм² ($R_s = 355$ МПа);

Сжатая арматура $3\Box 20$ A's = 942 мм² A400 ($R_s = 355$ МПа);

Бетон В30 ($R_b = 17$ МПа)

Действующий полный изгибающий момент

$M = 750$ кН·м

Требуется проверить прочность сечения по предельным усилиям и при необходимости усилить.

Расчет:

Определяем несущую способность сечения без усиления.

Высота сжатой зоны бетона:

$$x = \frac{N_s - N'_s}{R_b b} = \frac{110555 - 34100}{173 \cdot 30} = 14.73 \text{ см}$$

где $N_s = R_s A_s = 3620 \cdot 30.54 = 110555$ кгс

$N'_s = R_{sc} A'_s = 3620 \cdot 9.42 = 34100$ кгс

$x = 14.73 \text{ см} \leq \xi_R h_0 = 0,531 \cdot 65 = 34,51 \text{ см}$

Тогда предельный изгибающий момент без усиления равен:

$$M_{ult} = R_b b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

$$M_{ult} = 173 \cdot 30 \cdot 14.73 \left(65.0 - \frac{14.73}{2} \right) + 3620 \cdot 9.42 (65 - 3) =$$

$$= 6520346 \text{ кгс} \cdot \text{см} = 652 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Требуется усиление.

Усиление железобетонного элемента выполняется путем наклеивания с нижней поверхности системы внешнего армирования из полимерных композитов FibARM, образованной из однонаправ-

ленных углеродных лент FibARM Tape 230/300 и связующего FibARM Resin.

По результатам испытаний в соответствии ГОСТ 25.601-80 были определены значения прочности углепластика на растяжение и модуля упругости с обеспеченностью 0,95, равные 3600 МПа и 245ГПа соответственно.

$$R_f = 3600 \text{ МПа};$$

$$E_f = 245000 \text{ МПа};$$

Толщина монослоя: $t_f = 0,128 \text{ мм}$.

Ширина монослоя: $b_f = 300 \text{ мм}$.

Количество слоев: $n = 3 \text{ слоя}$.

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:

$$nE_{ft}t_f = 3 \cdot 245000 \cdot 0.128 = 94080 < 180000$$

$$\text{Тогда } k_m = \frac{1}{60\varepsilon_{ft}} \left(1 - \frac{nE_{ft}t_f}{360000} \right) = \frac{1}{60 \cdot 0.0098} \left(1 - \frac{94080}{360000} \right) = 1.26 > 0,9$$

Предельные расчетные деформации СВА:

$$\varepsilon_{fu} = k_m \varepsilon_{ft} = 0.9 \cdot 0.0098 = 0.0088,$$

Расчетное сопротивление растяжению определяется по формуле:

$$R_{fu} = E_f \varepsilon_{fu} = 245000 \cdot 0.0088 = 2160 \text{ МПа}$$

Площадь поперечного сечения СВА:

$$A_f = 3 \cdot 300 \cdot 0.128 = 115.2 \text{ мм}^2$$

Усилия в растянутой и сжатой арматуре, в СВА:

$$N_s = R_s A_s = 3620 \cdot 30.54 = 110555 \text{ кгс}$$

$$N'_s = R_{sc} A'_s = 3620 \cdot 9.42 = 34100 \text{ кгс}$$

$$N_f = R_{fu} A_f = 22018 \cdot 1.15 = 25365 \text{ кгс}$$

Высота сжатой зоны бетона:

$$x = \frac{N_s + N_f - N'_s}{R_b b} = \frac{110555 + 25365 - 34100}{173 \cdot 30} = 19.62 \text{ см}$$

Проверка ограничения высоты сжатой зоны:

$$X = 19.62 \text{ см} < (0,0035 \cdot 70 / (0,0035 + 0,0088)) = 19.92 \text{ см}$$

Расстояние от края бетона растянутой зоны до равнодействующей в растянутой арматуре и СВА:

$$a_p = \frac{N_s \cdot a}{(N_s + N_f)} = \frac{110555 \cdot 5}{(110555 + 25365)} = 4.07 \text{ см}$$

Усилия в бетоне:

$$N_b = R_b b x = 173 \cdot 30 \cdot 19.62 = 101820 \text{ кгс}$$

Расстояние от края бетона сжатой зоны до равнодействующей в сжатой арматуре и бетоне:

$$\left(a' + \frac{N_b \cdot (x/2 - a')}{(N_s' + N_b)} \right) = 3 + \frac{101820 \cdot (19.62/2 - 3)}{(34100 + 101820)} = 8.10 \text{ см}$$

Расстояние z_b :

$$z_b = (h - a_p - a' - a_{p2}) = 70 - 4.07 - 8.10 = 57.83 \text{ см}$$

Предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением усиленного элемента:

$$M_{ult} = (N_b + N_s') \cdot z_b = (101820 + 34100) \cdot 57.83 = 7761000 \text{ кгс*см}$$

$$M_{ult} = 786 \text{ кН*м} > 750 \text{ кН*м}$$

Прочность обеспечена.

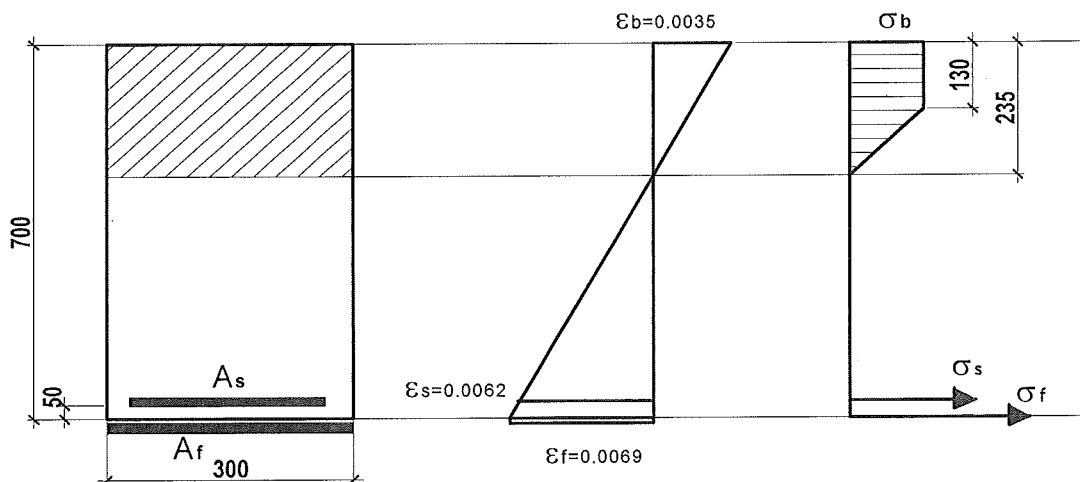
Пример 2

Исходные данные:

Из примера 1.

Требуется определить несущую способность сечения до и после усиления с использованием деформационной модели.

Усиление СВА FibARM выполняется в 3 слоя по примеру 1.



Результаты расчета:

Параметры		До усиления	После усиления
Высота сжатой зоны бетона	x , см	18,75	23,53
Деформация верхнего волокна бетона	ε_b	0,0035	0,0035
Деформация растянутой арматуры	ε_s	-0,0086	-0,0062
Деформация сжатой арматуры	ε'_s	0,0029	0,0031
Деформация растянутой СВА FibARM	ε_f	-	-0,0069
Напряжение растянутой арматуры	σ_s , кгс/см ²	-3620	-3620
Напряжение сжатой арматуры	σ'_s , кгс/см ²	3620	3620
Напряжение СВА FibARM	σ_f , кгс/см ²	-	-16932
Усилие в бетоне	N_b , кгс	76449	95960
Усилие в растянутой арматуре	N_s , кгс	-110555	-110555
Усилие в сжатой арматуре	N'_s , кгс	34100	34100
Усилие в СВА FibARM	N_f , кгс	-	-19505
Предельный изгибающий момент	M_{ult} , кН*м	651	754

Пример 3

Исходные данные:

Размеры сечения

$b = 400$ мм;

$h = 800$ мм;

$a = 50$ мм;

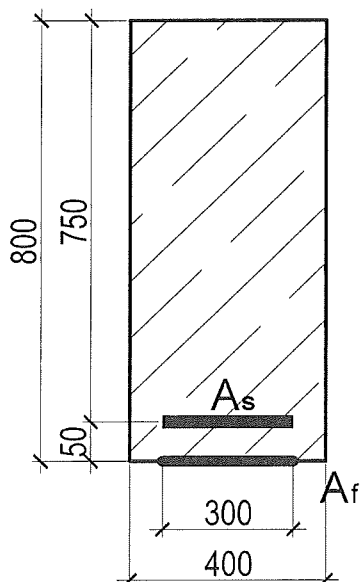
Растянутая арматура $4\varnothing 22$ А500

$A_s = 1520$ мм² ($R_s = 355$ МПа);

Бетон В40 ($R_b = 22$ МПа, $R_{bt} = 1,4$ МПа,)

Действующий до усиления изгибающий момент

$M = 300$ кН*м



Требуется определить несущую способность изгибаемого элемента сечением 400x800(h)мм из бетона класса В40 с односторонним армированием 4Ø22А500 с учетом изгибающего момента $M=300\text{кН}\cdot\text{м}$, действующего на конструкцию до усиления. Усиление запроектировано из четырех слоев полимерного композита FibARM шириной 300мм.

Расчет:

Определяем напряженное состояние элемента до усиления. Проверяем условие образования трещин.

$$E_{b,red} = R_b / \varepsilon_{b,1} = 22 / 0,0015 = 14667 \text{ МПа}$$

$$\alpha = E_s / E_b = 2,0 \cdot 10^5 / 14667 = 13,64$$

$$A_{red} = A_b + \alpha A_s = 400 \cdot 800 + 1520 \cdot 13,64 = 340733 \text{ мм}^2$$

$$y_t = S_{xred} / A_{red} = (400 \cdot 800 \cdot 400 + 1520 \cdot 13,64 \cdot 50) / 340733 = 379 \text{ мм}$$

$$I_{red} = \Sigma I = 400 \cdot 800^3 / 12 + 400 \cdot 800 \cdot (400 - 379)^2 + 1520 \cdot 13,64 \cdot (379 - 50)^2 = 1945,2 \cdot 10^7 \text{ мм}^4$$

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 1945,2 \cdot 10^7 / 379 = 51324342 \text{ мм}^3$$

$$M_{crc} = W_{red} R_{bt} = 51324342 \text{ мм}^3 \cdot 1,4 = 71854079 \text{ Нмм} = 71,9 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Действующий момент $M=300\text{кН}\cdot\text{м}$ превышает момент образования трещин. Проверяем условие для второй стадии.

$$x = \left[\sqrt{(\alpha_s \mu_s)^2 + 2 \alpha_s \mu_s} - \alpha_s \mu_s \right] h_0 =$$

$$= \left[\sqrt{(0,0691)^2 + 2 \cdot 0,0691} - 0,0691 \right] 750 = 232 \text{ мм}$$

$$\mu = A_s / (b \cdot h_0) = 1520 / (400 \cdot 750) = 0,0051$$

$$\mu \alpha = 0,0691$$

Предельный момент для первого случая

$$M_2 = \frac{1}{2} R_b \cdot b \cdot x \left(h_0 - \frac{1}{3} x \right) = 0,5 \cdot 22 \cdot 400 \cdot 232 \left(750 - 232/3 \right) = 686658133 \text{ Нмм} = 687 \text{ кНм}$$

Предельный момент для второго случая равен

$$M_2 = R_s \cdot A_s \left(h_0 - \frac{1}{3} x \right) = 435 \cdot 1520 \left(750 - 232/3 \right) = 444767200 \text{ Нмм} = 445 \text{ кНм}$$

Действующий момент $M=300 \text{ кН}$ менее предельного момента «по арматуре», отвечающего границе упругой работы сечения с трещиной.

Определяем деформации арматуры

$\varepsilon_{s,0} = 435/2 \cdot 10^5 = 0,0022$ – деформации, отвечающие пределу текучести стальной арматуры

Фактические напряжения в стальной арматуре

$$\sigma_s = M / (A_s (h_0 - x/3)) = 300000000 / (1520 (750 - 232/3)) = 293 \text{ МПа}$$

$\varepsilon_s = 293/2 \cdot 10^5 = 0,0015$ – фактические деформации стальной арматуры не достигают деформаций, отвечающих пределу текучести.

Усиление железобетонного элемента выполняется путем наклеивания с нижней поверхности системы внешнего армирования из полимерных композитов FibARM, образованной из 4-х слоев однонаправленных углеродных лент FibARM Tape 230/300 и связующего FibARM Resin.

По результатам испытаний в соответствии ГОСТ 25.601-80 были определены значения прочности углепластика на растяжение и модуля упругости с обеспеченностью 0,95, равные 3600 МПа и 245 ГПа соответственно.

$$R_f = 3600 \text{ МПа};$$

$$E_f = 245000 \text{ МПа};$$

Толщина монослоя: $t_f = 0,128 \text{ мм}$.

Ширина монослоя: $b_f = 300 \text{ мм}$.

Количество слоев: $n = 4$ слоя.

Конструкция эксплуатируется на открытом воздухе.

Площадь поперечного сечения усиления:

$$A_f = 4 \cdot 300 \cdot 0,128 = 153,6 \text{ мм}^2$$

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:

$$n E_{ft} t_f = 4 \cdot 245000 \cdot 0,128 = 125440 \leq 180000$$

$$\text{тогда } k_m = \frac{1}{60 \varepsilon_{ft}} \left(1 - \frac{n E_{ft} t_f}{360000} \right) = \frac{1}{60 \cdot 0.0098} \left(1 - \frac{125440}{360000} \right) = 1.11 > 0.9$$

Предельные расчетные деформации СВА:

$$\varepsilon_{fu} = k_m \varepsilon_{ft} = 0.9 \cdot 0.0098 = 0.00882,$$

Расчетное сопротивление растяжению определяется по формуле:

$$R_{fu} = E_f \varepsilon_{fu} = 245000 \cdot 0.0088 = 2160 \text{ МПа}$$

Площадь поперечного сечения СВА:

$$A_f = 4 \cdot 300 \cdot 0.128 = 153.6 \text{ мм}^2$$

Предельная стадии работа конструкции отвечает одновременному достижению деформациями в крайнем бетонном сжатом волокне и растянутом СВА предельных величин. Граничная высота сжатой зоны $x_{гр}$, отвечающая данной стадии, определяется из линейной зависимости деформаций в сечении. Эпюра напряжений в сжатом бетоне принимается прямоугольной.

$$x_{гр} = (\varepsilon_{b,2} \cdot h) / (\varepsilon_{b,2} + \varepsilon_{f,u}) = 0,0035 \cdot 800 / (0,0035 + 0,00882) = 227 \text{ мм}$$

Деформации стали при этом будут определяться:

$\varepsilon_s = \varepsilon_{b,2} (h_0 - x_{гр}) / x_{гр} = 0,0035 (750 - 227) / 227 = 0,0081$ – деформации стали в предельной стадии значительно превышают деформации, отвечающие пределу текучести $\varepsilon_{s,0} = 0,0022$, т.е. в предельной стадии усилие в арматуре будет равняться:

$$N_s = R_s \cdot A_s = 435 \cdot 1520 = 661200 \text{ Н} = 661,2 \text{ кН}$$

$\varepsilon_{s,tot} = 0,0081 + 0,0015 = 0,0096$ – суммарные деформации в арматуре не превышают предельной величины $\varepsilon_{s,tot} = 0,025$.

Усилие в СВА составит:

$$N_f = R_f \cdot A_f = 2160 \cdot 153,6 = 331776 \text{ Н} = 331,8 \text{ кН}$$

Фактическую высоту сжатой зоны определим из условия равенства нулю проекции всех сил в сечении на горизонтальную ось $R_b b x = N_s + N_f$, откуда

$$x = (N_s + N_f) / R_b b = (661,2 + 331,8) / (22000 \cdot 0,4) = 0,113 \text{ м} = 113 \text{ мм}$$

Предельный изгибающий момент определим из условия равенства нулю моментов всех внутренних сил относительно растянутой арматуры:

$$M = R_b b x (h_0 - x/2) + N_f a = 22000 \cdot 0,4 \cdot 0,113 \cdot (0,750 - 0,113/2) + 331,8 \cdot 0,05 = 689,6 + 16,6 = 706,21 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Пример 4

Исходные данные:

Исходные данные из примера 3.

Требуется определить несущую способность изгибаемого элемента по предельным усилиям.

Расчет:

Усиление СВА FibARM выполняется в 4 слоя по примеру 3.

Предельные расчетные деформации СВА:

$$\varepsilon_{fu} = 0.00882,$$

Расчетное сопротивление растяжению определяется по формуле:

$$R_{fu} = 2160 \text{ МПа}$$

Площадь поперечного сечения СВА:

$$A_f = 1.536 \text{ см}^2$$

Усилия в растянутой и сжатой арматуре, в СВА:

$$N_s = R_s A_s = 4350 \cdot 15.21 = 66164 \text{ кгс}$$

Высота сжатой зоны бетона:

$$x = \frac{N_s + N_f}{R_b b} = \frac{66164 + 33820}{224 \cdot 30} = 11.16 \text{ см}$$

Проверка ограничения высоты сжатой зоны:

$$X = 11.16 \text{ см} < (0,0035 \cdot 80 / (0,0035 + 0,0083)) = 23,73 \text{ см}$$

Расстояние от края бетона растянутой зоны до равнодействующей в растянутой арматуре и СВА:

$$a_p = \frac{66164 \cdot 5}{(66164 + 33820)} = 3.31 \text{ см}$$

Усилия в бетоне:

$$N_b = R_b b x = 224 \cdot 30 \cdot 11.16 = 99984 \text{ кгс}$$

Расстояние от края бетона сжатой зоны до равнодействующей в бетоне:

$$a_{p2} = 11.16 / 2 = 5.58 \text{ см}$$

Расстояние z_b :

$$z_b = (h - a_p - a_{p2}) = 80 - 3.31 - 5.58 = 71.11 \text{ см}$$

Предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением усиленного элемента:

$$M_{ult} = N_b \cdot z_b = 99984 \cdot 71.11 = 7110000 \text{ кгс} \cdot \text{см}$$

$$M_{ult} = 711 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Пример 5

Исходные данные:

Исходные данные из примера 3.

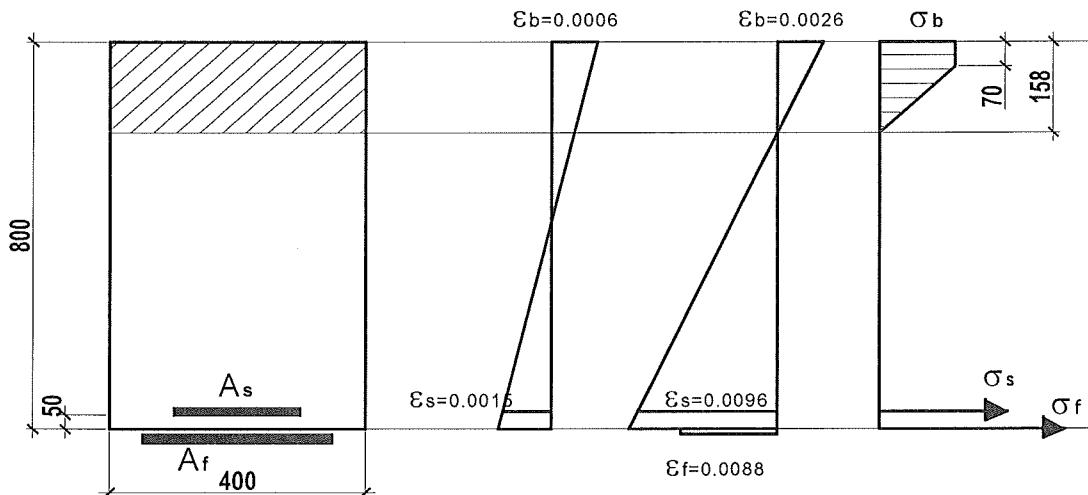
Требуется определить несущую способность сечения после усиления с учетом первоначальных деформаций при изгибающем моменте $M=300\text{кН}\cdot\text{м}$, действующим на конструкцию до усиления, по деформационной модели.

Расчет

На первом этапе определяем напряженное состояние элемента до усиления при действии изгибающего момента $M=300\text{кН}\cdot\text{м}$.

Определяем высоту сжатой зоны бетона, напряжения в бетоне и арматуре, деформации в стальной арматуре и крайнего растянутого волокна бетона.

На втором этапе выполняется расчет несущей способности сечения после усиления наклеиванием СВА FibARM при максимальных деформациях крайнего растянутого волокна бетона равных сумме предельной деформации наклеенного 4-х слойного полимерного композита FibARM с характеристиками из примера 3 и начальной деформации крайнего растянутого волокна бетона, определенной на первом этапе расчета.



Результаты расчета:

Параметры		До усиления	После усиления
Высота сжатой зоны бетона	x , см	23,2	15,83
Деформация крайнего сжатого	ε_{bn}	0,0006	0,0026

волокна бетона			
Деформация крайнего растянутого волокна бетона	ε_{bi}	-0,0016	-0,0104
Деформация растянутой арматуры	ε_s	-0,0015	-0,0096
Деформация растянутой СВА FibARM	ε_f	-	-0,0088
Напряжение растянутой арматуры	σ_s , кгс/см ²	-2934	-4430
Напряжение СВА FibARM	σ_f , кгс/см ²	-	-21600
Усилие в бетоне	N_b , кгс	44599	100509
Усилие в растянутой арматуре	N_s , кгс	-44599	-67336
Усилие в СВА FibARM	N_f , кгс	-	-33178
Начальный изгибающий момент	M_0 , кН*м	300	650
Предельный изгибающий момент	M_{ult} , кН*м	479	711

УДК

ОКС

ОКП

Ключевые слова: усиливающие элементы, терморезистивный адгезив, общие требования, устройство системы внешнего армирования, методы контроля
