

ПРЕПРЕГ-СКМ

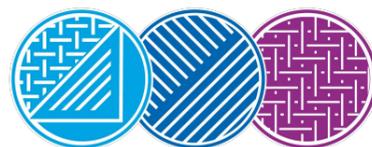
Акционерное общество
«Препрег-СКМ»

АЛЬБОМ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СЕЙСМОУСИЛЕНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЙ С НЕСУЩИМИ СТЕНАМИ ИЗ КАМЕННОЙ КЛАДКИ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ FibArm НА ОСНОВЕ УГЛЕВОЛОКНА

Издание официальное

Москва 2017

АО «Препрег-СКМ»
109316 г. Москва, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 13
Т: +7 495 787 88 82
Ф: +7 495 783 7331
E: info@prepreg-acm.com
www.prepreg-acm.com



ПРЕПРЕГ-СКМ

Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ПРОБЛЕМАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ МЧС РОССИИ»
(ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР НАУКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ)

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель начальника
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)
кандидат технических наук, доцент

И.В. Сосунов
« 15 » 10 2012 г.

АЛЬБОМ

КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СЕЙСМОУСИЛЕНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ
ЗДАНИЙ С НЕСУЩИМИ СТЕНАМИ ИЗ КАМЕННОЙ КЛАДКИ
КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ FibARM НА ОСНОВЕ
УГЛЕВОЛОКНА

Начальник 2 НИЦ


С.И. Смирнов
« 15 » 10 2012 г.

Научный руководитель работы
главный научный сотрудник,
д.т.н.


Г.П. Тонких
« 15 » 10 2012 г.

Ответственный исполнитель работы
старший научный сотрудник,
к.т.н.


О.А. Симаков
« 15 » 10 2012 г.

Москва, 2012 г.



АО «Препрег-СКМ»
109316 г. Москва, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 13
Т: +7 495 787 88 82
Ф: +7 495 783 7331
E: info@prepreg-acm.com
www.prepreg-acm.com



Содержание

Введение.....	4
1. Физико-механические характеристики углеволокна.....	5
2. Технология нанесения	6
2.1. Общие указания.....	6
2.2. Подготовка поверхности конструкции	7
2.3. Подготовка усиливающих элементов.....	9
2.4. Подготовка адгезива.....	10
2.5. Наклейка усиливающих элементов.....	10
2.6. Защита внешнего армирования.....	13
3. Конструктивные решения по повышению сейсмостойкости конструкций.....	14
3.1. Усиление каменной кладки стен	14
3.2. Усиление каменных колонн.....	21
3.3. Усиление проемов каменной кладки стен.....	24
3.4. Усиление зоны опирания перемычек над проемами	29
3.5. Усиление железобетонных ригелей	31
3.6. Усиление плит перекрытия	33
3.7. Конструктивные решения по созданию единых дисков перекрытия	36
3.8. Усиление узлов сопряжения ригелей с колонной.....	40
3.9. Создание диафрагм жесткости.	42
3.10. Усиление ненесущих перегородок	45
4. Расчетные положения.....	47
4.1. Основные положения по расчету	47
4.2. Расчет каменных конструкций	49
4.2.1. Расчет каменной кладки при действии горизонтальной силы в плоскости кладки	49
4.2.2. Расчет каменной кладки при действии момента в плоскости кладки.....	50
4.2.3. Расчет каменной кладки при действии момента из плоскости кладки.....	52
4.2.4. Расчет каменных столбов.....	53
4.3. Расчет железобетонных элементов перекрытий каменных зданий по первой группе предельных состояний.....	54
4.3.1. Расчет изгибаемых элементов	54
4.3.2. Расчет прочности сечений, наклонных к продольной оси изгибаемого элемента	56
4.3.3. Расчет по прочности нормальных сечений на основе нелинейной деформационной модели.....	59
4.4. Расчет элементов по второй группе предельных состояний.....	64
4.4.1. Расчет по образованию трещин	64
4.4.2. Расчет по раскрытию трещин.....	64
4.4.3. Расчет по деформациям	65
Список литературы.....	66

Введение

Настоящий альбом конструктивных решений по сейсмоусилению элементов зданий с несущими стенами из каменной кладки системой внешнего армирования композитными материалами FibArm на основе углеволокна. Разработан в соответствии с договором 74 Пр-11 между ЗАО «Холдинговая компания «Композит» – заказчик и ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) – исполнитель.

Основные конструктивные решения по усилению несущих конструкций зданий из каменной кладки и узлов их соединения прошли проверку несущей способности на сейсмостенде при испытаниях натуральных фрагментов каменных зданий, проведенных ООО «НПФ Строй-Динамика» на нагрузки, эквивалентные сейсмическим воздействиям интенсивностью 8–9 баллов.

В альбоме приведены физико-механические характеристики углеродных лент и двунаправленных углеродных тканей FibArm Tape и технологии их нанесения на каменную кладку и наружную поверхность железобетонных элементов перекрытий. В разделе конструктивных решений по повышению сейсмостойкости основных несущих элементов каменных зданий приведены области их применения, мероприятия по усилению, а также особенности расчета и конструирования системы внешнего армирования композитным материалом. В разделе «Расчетные положения» приведены методы расчета каменных и железобетонных конструкций с использованием в качестве усиления системы внешнего армирования композитными материалами FibArm на основе углеволокна.

За основу при разработке методов расчета принят стандарт организации, разработанный ЗАО «Препрек-СКМ» совместно с НИИЖБ (СТО 2256–002–2011).

В разработке альбома «Конструктивные решения по сейсмоусилению элементов зданий с несущими стенами из каменной кладки композитными материалами FibArm на основе углеволокна» принимали участие: от ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) д. т. н. Тонких Г. П. – научный руководитель работы, к. т. н. Симаков О. А. – ответственный исполнитель работы; от ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко к. т. н. Грановский А. В.; от МГСУ Мочалов А. Л.; от ЗАО «ХК «Композит» Лягуша Т. К. В подготовке альбома к изданию принимали участие от МГСУ Бирюков А. М., Головкин Д. А., Лученинов П. С.

1. Физико-механические характеристики углеволокна

Физико-механические свойства систем внешнего армирования (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 [2] с обеспеченностью 0,95.

Система внешнего армирования предназначена для ремонта и усиления строительных конструкций с целью устранения последствий разрушения бетона и коррозии арматуры в результате длительного воздействия природных факторов и агрессивных сред в процессе эксплуатации сооружений. На стадии строительства и эксплуатации система внешнего армирования позволяет решить следующие задачи: устранить ошибки проектирования или исполнения работ, увеличить несущую способность конструкций при увеличении расчетных нагрузок, а также устранить последствия повреждения несущих конструкций, возникшие в ходе эксплуатации.

Углеродные материалы для системы внешнего армирования обладают следующими физическими и механическими характеристиками:

Углеродные ленты и ткани FibArm Tape:

- поверхностная плотность: 150–600 г/м²
- ширина: 100–1200 мм
- длина: 50–100 м
- прочность на растяжение углеродного волокна – до 4,9 ± 5% ГПа
- модуль упругости углеродного волокна – не менее 245 ГПа
- среднее значение прочности на растяжение углепластика – не менее 3,6 ГПа (расчет по волокну)

Углеродные сетки FibArm Grid:

- размер ячейки: 10x20 мм
- поверхностная плотность: 150–600 г/м²
- ширина: 1000–1200 мм
- длина: 50–100 м
- прочность на растяжение углеродного волокна – до 4,9 ± 5% ГПа
- модуль упругости углеродного волокна – не менее 245 ГПа

Углеродные анкерные жгуты FibArm Anchor обладают следующими характеристиками:

- диаметр: 6–20 мм
- прочность на растяжение углеродного волокна – до 4,9 ± 5% ГПа
- модуль упругости углеродного волокна – не менее 245 ГПа
- прочность на растяжение: не менее 750 МПа

Для устройства системы внешнего армирования применяются эпоксидные связующие FibArm Resin.

2. Технология нанесения

2.1. Общие указания

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.

Предусмотренная проектом система распределения внешнего армирования FibArm должна обеспечивать миграцию влаги из тела строительных конструкций. Для этого в плитных конструкциях соседние ленты рекомендуется наклеивать с интервалом между ними не менее 200 мм. 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.

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

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

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.

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 °С выше точки росы и не ниже +12 °С. В противном случае возникает опасность выпадения конденсата паров воды из воздуха на усиливаемые поверхности и, 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%.

2.2. Подготовка поверхности конструкции

Прочность бетонного основания на сжатие для колонн должна быть не менее 10 МПа, для других конструкций – не менее 15 МПа.

В каменных конструкциях марка кирпича, бетонных камней и блоков должна быть не ниже М35, а цементных растворов – не ниже М15. Временное сопротивление осевому растяжению по неперевязочным швам (нормальное сцепление) должно быть не менее $R_{bp} \geq 60$ кПа (0,6 кгс/см²).

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

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

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. Непрочные участки основания должны быть удалены.

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, продувки сжатым воздухом или при помощи строительного пылесоса.

После удаления непрочных участков и очистки поверхность основания должна быть выровнена, а локальные геометрические дефекты устранены.

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.

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.

При наличии процессов коррозии арматурной стали в кладке или бетоне, перед усилением конструкции необходимо обработать бетонную поверхность мигрирующим ингибитором коррозии арматурной стали.

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

Для улучшения сцепления адгезива с конструкцией поверхность основания должна соответствовать следующим требованиям к шероховатости по ГОСТ 2789–73 [3]:

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.

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

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

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%.

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

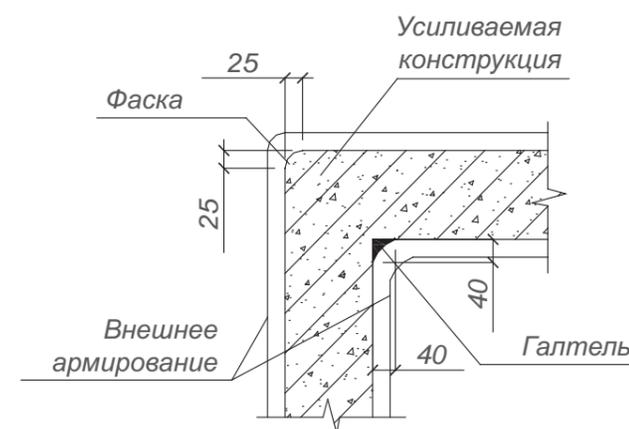


Рис. 2.1. Подготовка поверхности основания в угловых зонах

2.3. Подготовка усиливающих элементов

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.

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

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.

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.

Во избежание разрушения части волокон и снижения прочности не допускается складывание (перегиб) лент поперек волокон. Не допускается деление ленты на жгуты и повреждение волокна.

2.4. Подготовка адгезива

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 согласно технической документации производителя.

Жизнеспособность адгезива FibArm Resin должна составлять не менее:

40 минут – при температуре 25 °С;

70 минут – при температуре 15 °С.

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

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

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

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 воршитель из смеси.

Емкость с подготовленным адгезивом следует плотно закрыть крышкой, замаркировать время смешивания (для исключения использования адгезива, простоявшего более заявленного срока использования) и немедленно передать к месту производства работ.

2.5. Наклейка усиливающих элементов

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.

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.

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

Усиливающие элементы, подготовленные в соответствии с требованиями настоящего альбома, 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.

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.

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.

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 аналогично однослойному усилению;
- нанесение адгезива, укладку и прикатку последующих слоев следует производить аналогичным образом;
- при невозможности соблюдения указаний по обеспечению анкеровки лент следует выполнить наклейку одного слоя по всей площади усиления, дождаться 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.

При устройстве внешнего армирования строительных конструкций системой FibArm 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 400 мм.

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

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

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

24 часов – при температуре выше 20 °С;

36 часов – при температуре от +5 °С до +20 °С.

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.

При устройстве внешнего армирования строительных конструкций системой FibArm в несколько слоев перерыв между наклейкой слоев не должен превышать времени жизнеспособности адгезива.

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

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

2.6. Защита внешнего армирования

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 (модуль крупности 1,5–2,0 по ГОСТ 8736–93 [11])	0,4 л
J-40 (Примал).	0,15 л
Вода	0,25 л

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.

3. Конструктивные решения по повышению сейсмостойкости конструкций

3.1. Усиление каменной кладки стен

В данном разделе представлены варианты усиления каменной кладки стен зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сейсмоопасных регионах с сейсмичностью 7–9 баллов.

В таблице 3.1 указаны условия применения предложенных вариантов усиления, особенности расчета и конструирования.

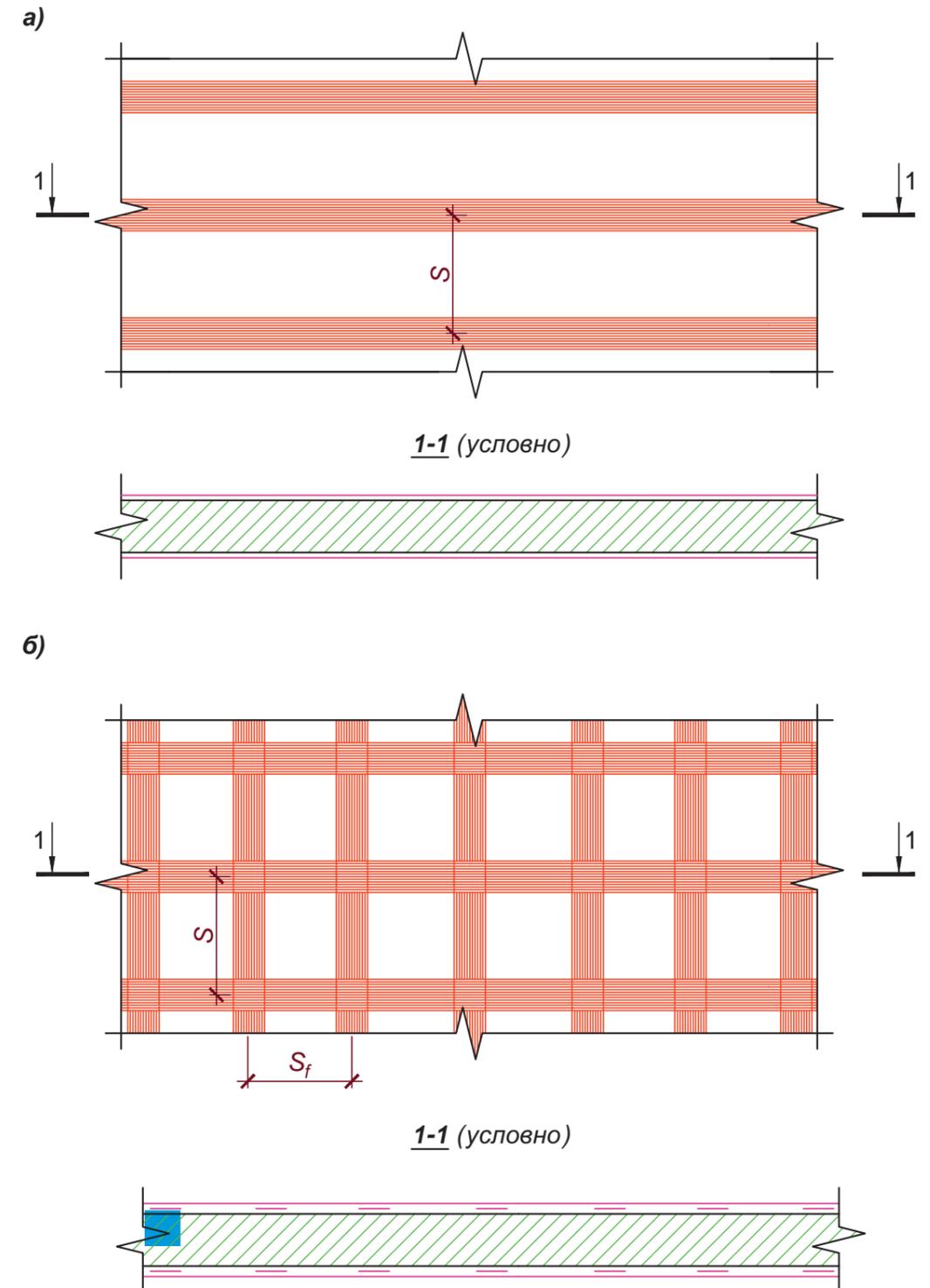
Таблица 3.1

Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.1.1. Усиление каменной кладки стен СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами при их недостаточной несущей способности на действие сейсмических нагрузок и несоответствии кладки требованиям, предъявляемым к I и II категориям	<p>а) Наклейка горизонтальных лент FibArm Tape на каменную кладку (рис. 3.1.1.а)</p> <p>б) Наклейка горизонтальных и вертикальных лент FibArm Tape на каменную кладку (рис. 3.1.1.б)</p> <p>в) Наклейка лент FibArm Tape на каменную кладку по диагоналям (рис. 3.1.1.в)</p> <p>г) Наклейка лент FibArm Tape на каменную кладку оконных простенков по диагоналям (рис. 3.1.1.г)</p>	<p>а) Сечение и шаг горизонтальных лент по высоте – S для районов с сейсмичностью 7–9 определяются расчетом, приведенным в п. 4.2.1.</p> <p>Количество слоев холста в одном месте назначается не более 3. Наклейка лент производится с двух сторон стены. Соединения лент по длине выполнять с нахлестом ленты не менее 300 мм. Расположение нахлеста должно отстоять от угла не менее чем на 200 мм, а также располагаться в разбежку не менее 1000 мм.</p> <p>б) Для районов с сейсмичностью 7–9 баллов сечение и шаг горизонтальных лент по высоте – S определяются расчетом, приведенным в п. 4.2.1-4.2.3, сечение и шаг вертикальных лент по высоте – S_f определяются расчетом, приведенным в п. 4.2.2 и 4.2.3. Наклейка лент производится с двух сторон стены. Количество слоев холста в одном месте назначается не более 3. Соединения лент по длине выполнять с нахлестом ленты не менее 300 мм. Расположение нахлеста должно отстоять от угла не менее чем на 200 мм, а также располагаться в разбежку не менее 1000 мм.</p> <p>в, г) Наклейка однонаправленных лент по диагоналям производится с двух сторон стен.</p>

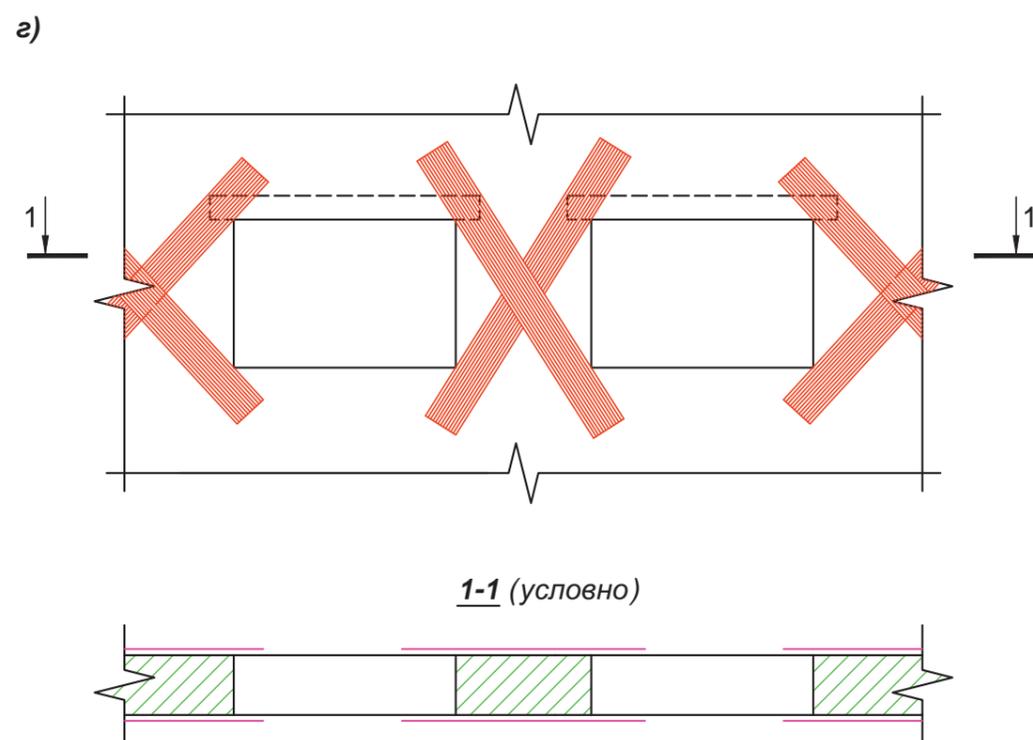
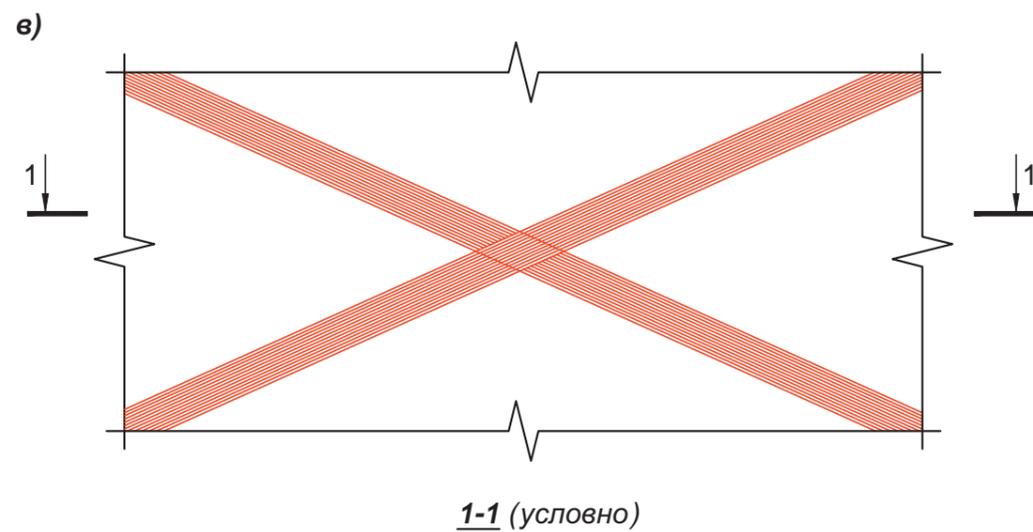
		Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры: – 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300; – 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300; – 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300
3.1.2. Усиление углов кирпичных стен СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами при несоответствии кладки требованиям, предъявляемым к I и II категориям, а также при недостаточной жесткости узла соединения стен	Наклейка вертикальных и горизонтальных лент FibArm Tape на каменную кладку (рис. 3.1.2)	Наклейка вертикальных лент производится с двух сторон стены на расстоянии не более 50 мм от угла здания поверх горизонтальных лент. Горизонтальные ленты наклеиваются с шагом не более 800 мм. Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры: – 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300; – 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300; – 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300. Длина анкерки лент ($l_{ан}$) относительно внутренних граней стен принимается не менее 600 мм
3.1.3. Усиление узлов сопряжения кирпичных стен СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами при несоответствии кладки требованиям, предъявляемым к I и II категориям, для повышения несущей способности стыка взаимно перпендикулярных стен	Устройство жгутов и наклейка горизонтальных лент FibArm Tape на каменную кладку взаимно перпендикулярных стен (рис. 3.1.3)	Сечение и шаг жгутов для соединения стен между собой по высоте принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки: – 7 баллов, диаметр жгутов 10 мм с шагом 600 мм, но не менее 5 штук на каждую стену; – 8 баллов, диаметр жгутов 15 мм с шагом 500 мм, но не менее 5 штук на каждую стену; – 9 баллов, диаметр жгутов 15 мм с шагом 400 мм, но не менее 6 штук на каждую стену.

	<p>Для пропуска жгутов в стенах сверлятся отверстия диаметром на 5 мм больше диаметра жгута.</p> <p>Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300; – 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300; – 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300. <p>Наклейка лент производится поверх жгутов.</p> <p>Длина анкеровки лент (l_{an}) относительно внутреннего угла стен принимается не менее 300 мм. Анкеровка жгута принимается не менее 300 мм. При этом оба конца жгута наклеиваются в виде веера с шириной основания не менее 200 мм.</p> <p>Данное усиление позволяет при расчете каменных стен по методике [8] включить в состав сечения стены участки стен, перпендикулярные плоскости рассчитываемой стены, длиной равной 0,25 высоты здания от уровня фундамента до верха стены, но не более 2 м</p>
--	---

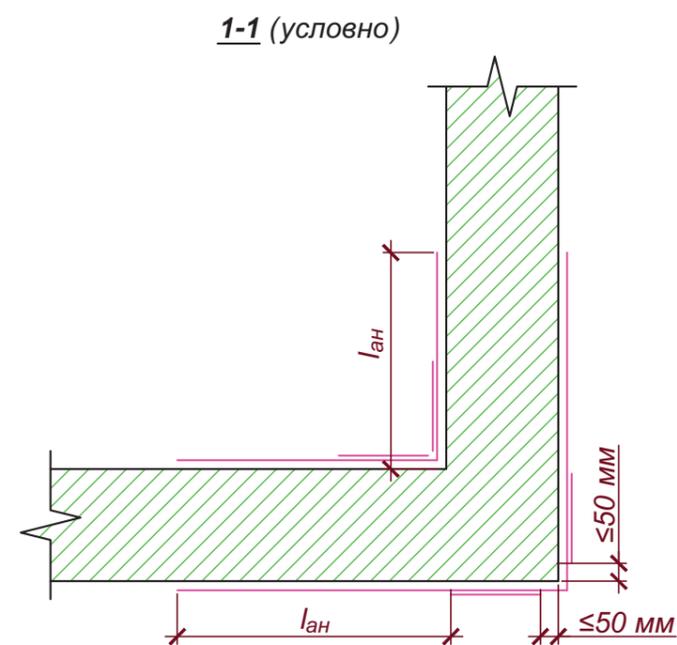
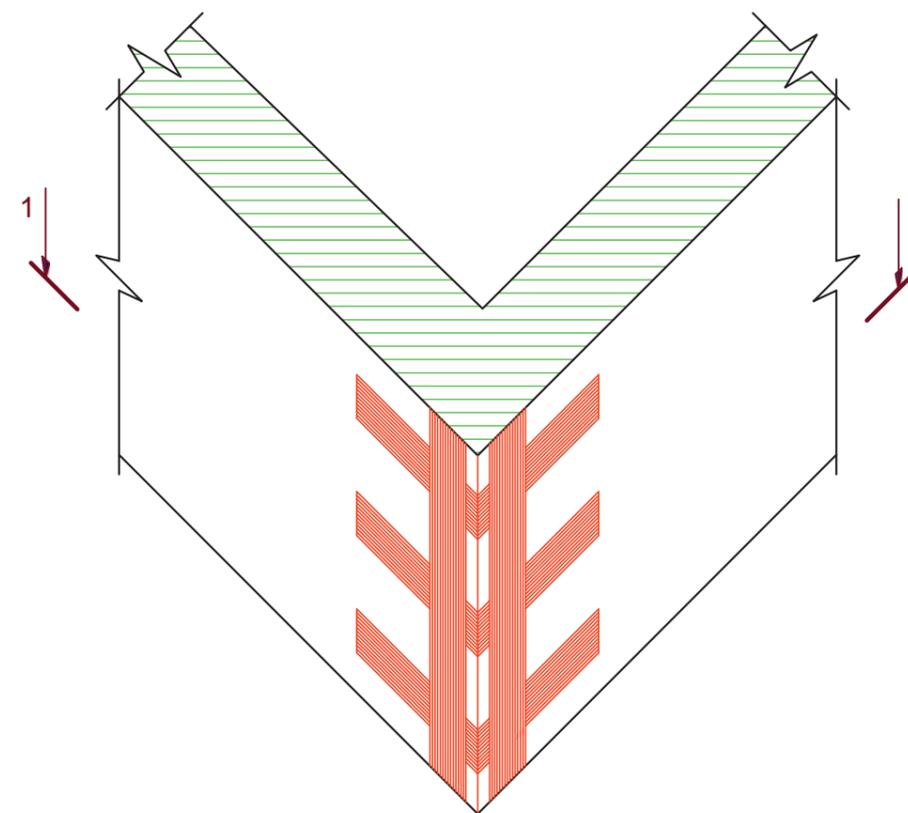
3.1.1. Усиление каменной кладки СВА



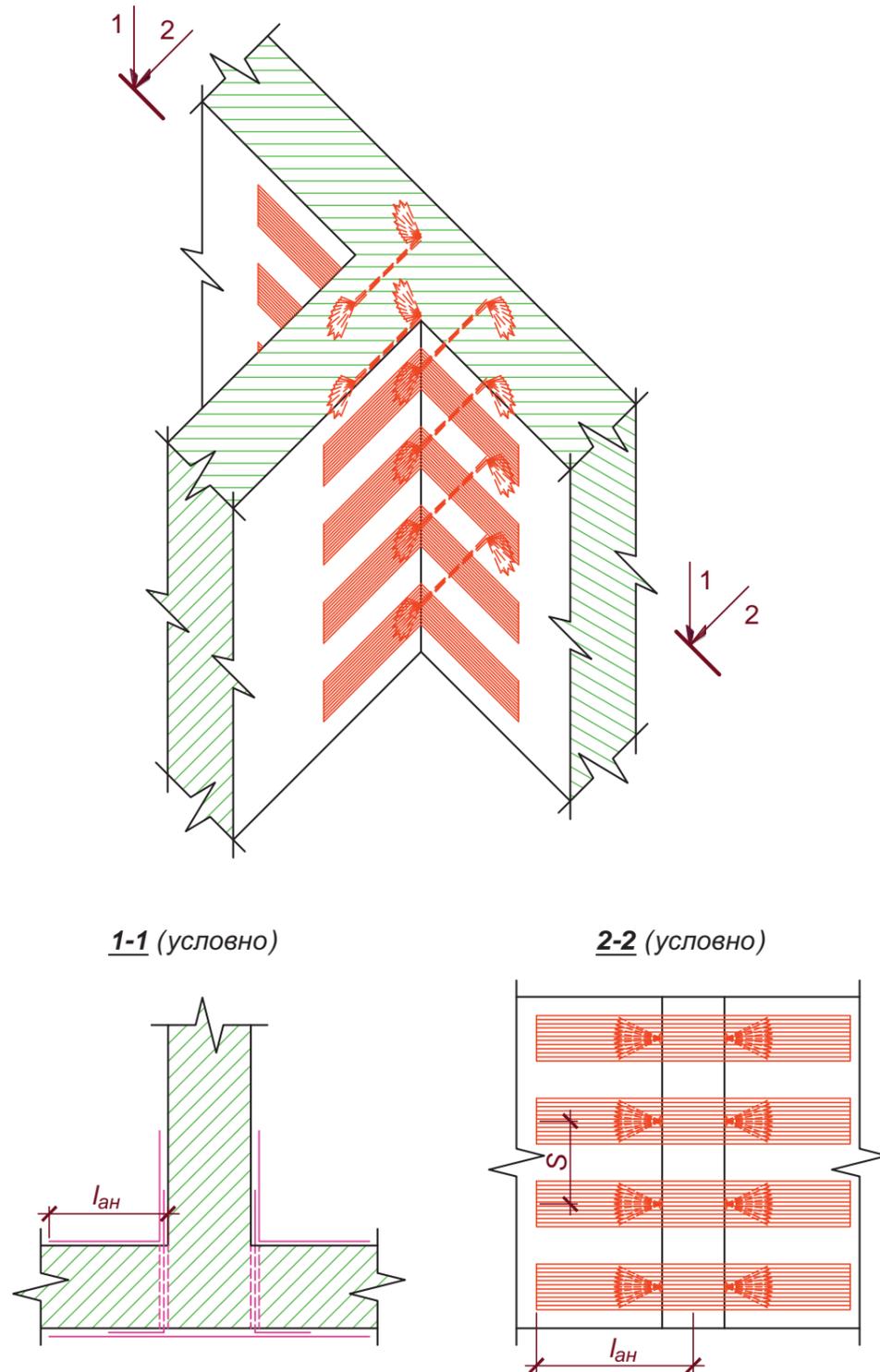
3.1.1. Усиление каменной кладки СВА



3.1.2. Усиление углов кирпичных стен СВА



3.1.3. Усиление узлов сопряжения кирпичных стен СВА



3.2. Усиление каменных колонн

В данном разделе представлены варианты усиления каменных колонн зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сейсмоопасных регионах с сейсмичностью 7–9 баллов.

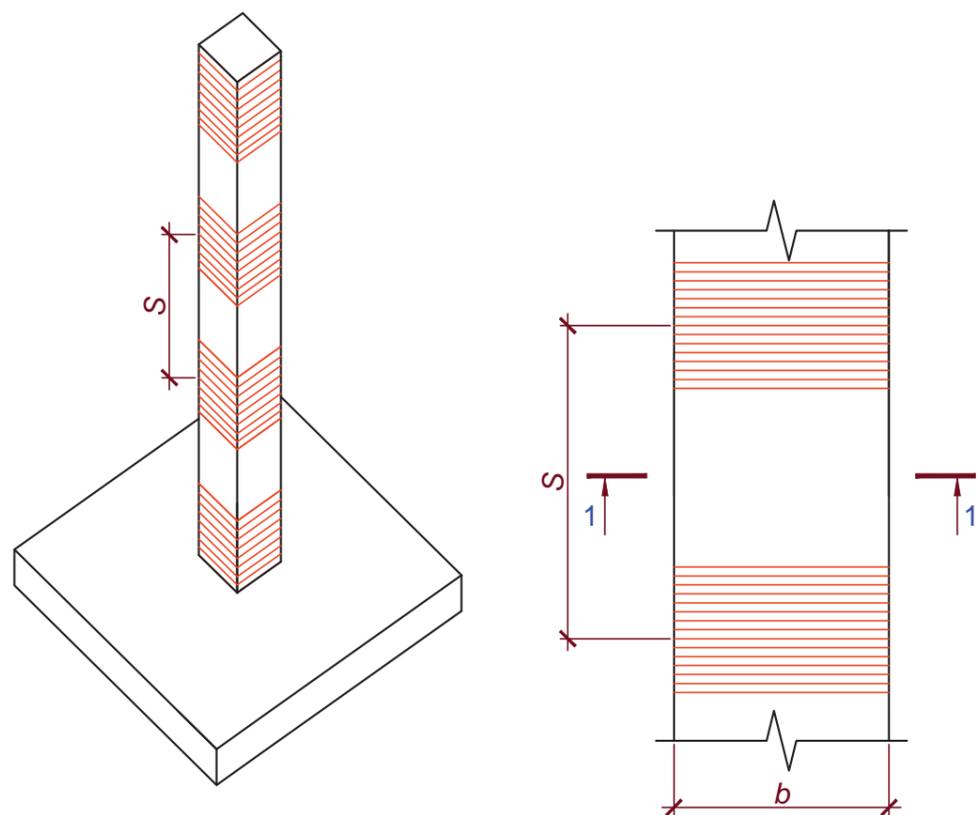
В таблице 3.2 указаны условия применения предложенных вариантов усиления, особенности расчета и конструирования.

Таблица 3.2

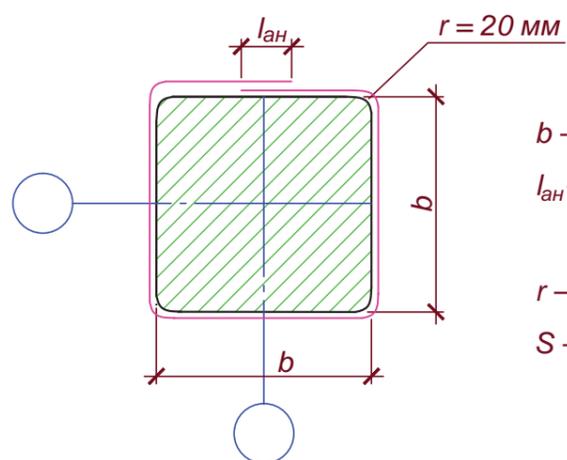
Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.2.1. Усиление каменных колонн СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными колоннами при их недостаточной несущей способности на действие статических и сейсмических нагрузок	Повышение прочности каменной кладки путем создания обоймы из СВА (рис. 3.2.1)	<p>Расчет несущей способности усиленной каменной кладки колонн за счет создания эффекта обоймы из СВА приведен в п. 4.2.4. Предлагается 2 варианта создания обоймы.</p> <p>Вариант 1. Создание обоймы путем наклейки однонаправленных лент FibArm с шагом – S, определяемым расчетом.</p> <p>Вариант 2. Создание обоймы путем наклейки двунаправленных холстов FibArm по всей плоскости колонн.</p> <p>Исходя из технологических требований внешние углы колонн в местах наклейки СВА должны быть закруглены с радиусом не менее 20 мм.</p> <p>Количество слоев холста в одной обойме назначается не более 3.</p> <p>При усилении конструкций, эксплуатирующихся в сейсмоопасных районах, рекомендуется использование для крайних обойм двунаправленного углехолста. Нахлест углехолста назначается не менее 300 мм.</p> <p>Расположение нахлеста должно отстоять от угла не менее чем на 100 мм</p>

3.2.1. Усиление каменных колонн СВА

Вариант 1



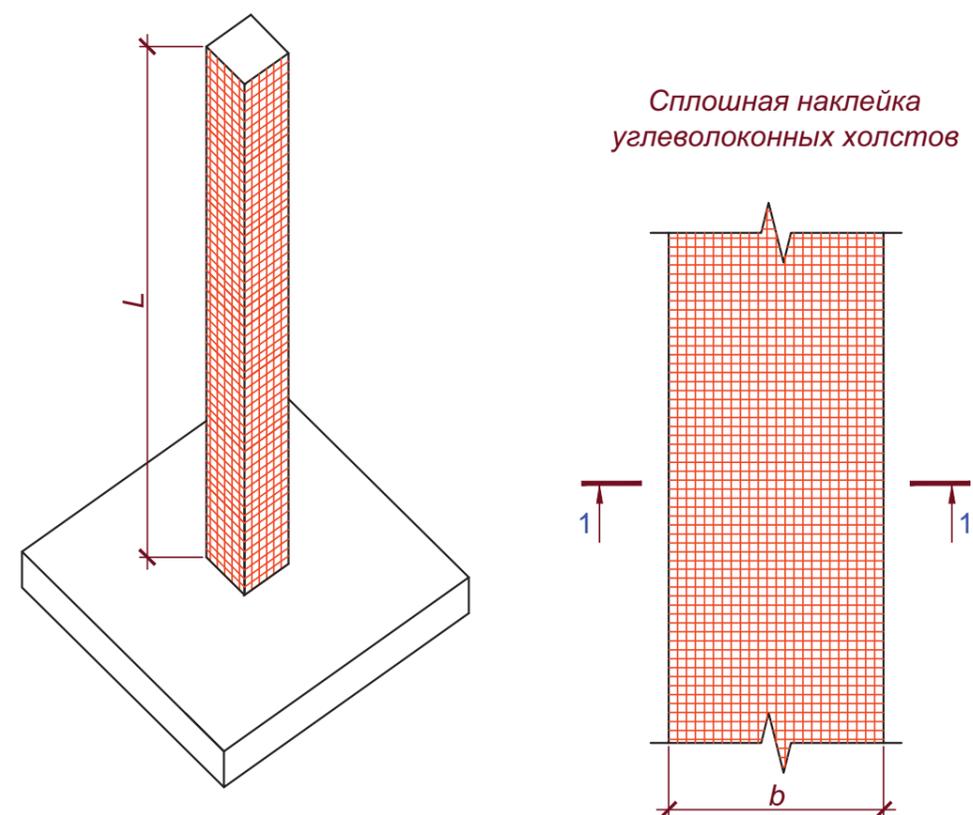
1-1 (условно)



b – размер поперечного сечения
 $l_{ан}$ – нахлест холста
 в направлении волокон
 r – радиус закругления колонны
 S – шаг однонаправленных лент

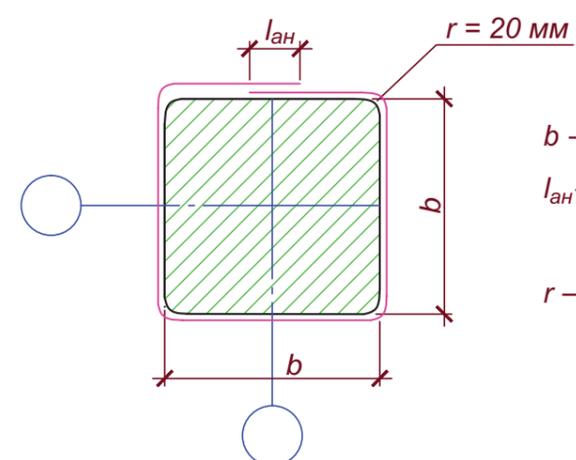
3.2.1. Усиление каменных колонн СВА

Вариант 2



Сплошная наклейка
 углеволоконных холстов

1-1 (условно)



b – размер поперечного сечения
 $l_{ан}$ – нахлест холста
 в направлении волокон
 r – радиус закругления колонны

3.3. Усиление проемов каменной кладки стен

В данном разделе представлены варианты усиления проемов каменной кладки стен зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сейсмоопасных регионах с сейсмичностью 7–9 баллов.

В таблице 3.3 указаны условия применения предложенных вариантов усиления, особенности расчета и конструирования.

Таблица 3.3

Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.3.1. Усиление проемов ворот в каменной кладке стен СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами в случае, когда ширина ворот превышает нормативные требования	Наклейка вертикальных и горизонтальных лент FibArm Tape на каменную кладку (рис. 3.3.1)	Усиление производится за счет создания «рамы» повышенной прочности из каменной кладки за счет создания эффекта обоймы. Данное усиление предполагает следующий порядок: 1. Наклейка П-образных горизонтальных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape на боковые поверхности проема с шагом S не более 600 мм. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм. 2. Наклейка горизонтальных лент на надворотную балку с двух сторон стены. Напуск ленты за грань проема – не менее 600 мм. 3. Наклейка вертикальных лент с двух сторон стены. Отступ от грани проема принимается не более 50 мм. 4. Наклейка П-образных вертикальных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape на надворотную балку в углах проема. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм. Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры: – 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300; – 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300; – 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300

3.3.2. Усиление оконных проемов в каменной кладке стен СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами в случае, когда ширина оконных проемов превышает нормативные требования	Наклейка вертикальных и горизонтальных лент FibArm Tape на каменную кладку (рис. 3.3.2)	Данное усиление предполагает следующий порядок: 1. Наклейка П-образных горизонтальных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape на боковые поверхности проема непосредственно под перемычкой. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм. 2. Наклейка горизонтальных лент на перемычку и под нижней гранью проема с двух сторон стены. Напуск ленты за грань проема – не менее 600 мм. 3. Наклейка вертикальных лент с двух сторон стены. Отступ от грани проема принимается не более 50 мм. 4. Наклейка П-образных вертикальных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape на перемычку в углах проема. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм. Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры: – 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300; – 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300; – 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300.
3.3.3. Усиление дверных проемов в каменной кладке стен СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами в случае, когда ширина дверных проемов превышает нормативные требования	а) Наклейка вертикальных и горизонтальных лент FibArm Tape на каменную кладку (рис. 3.3.3.а) б) Наклейка вертикальных, горизонтальных и наклонных лент FibArm Tape на каменную кладку (рис. 3.3.3.б)	а) Данное усиление предполагает следующий порядок: 1. Наклейка П-образных горизонтальных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape на боковые поверхности проема с шагом – S не более 600 мм. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм. 2. Наклейка горизонтальных лент на перемычку с двух сторон стены. Напуск ленты за грань проема – не менее 600 мм. 3. Наклейка вертикальных лент с двух сторон стены. Отступ от грани проема принимается не более 50 мм. 4. Наклейка П-образных вертикальных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape на перемычку в углах проема. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм.

Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется при дополнительном обосновании принимать следующие типоразмеры:

- 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300;
- 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300;
- 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300.

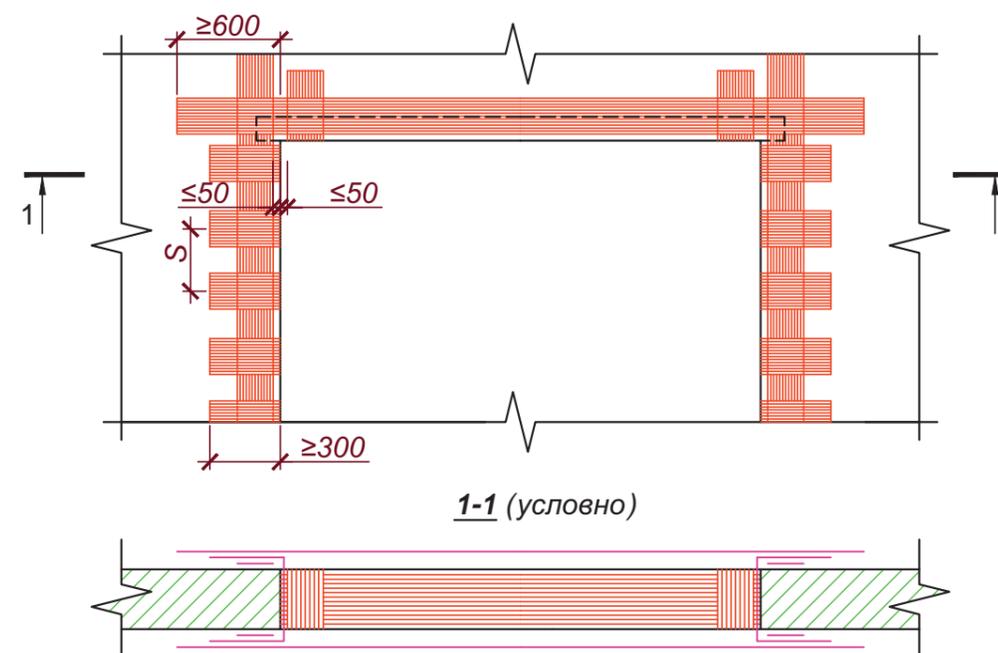
б) Данное усиление предполагает следующий порядок:

1. Наклейка вертикальных лент с двух сторон стены. Отступ от грани проема принимается не более 50 мм.
2. Наклейка горизонтальных лент на перемычку с двух сторон стены. Напуск ленты за грань проема – не менее 600 мм.
3. Наклейка П-образных горизонтальных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape на боковые поверхности проема непосредственно под перемычкой. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм.
4. Наклейка наклонных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape над перемычкой под углом 20–25° к перемычке. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм.

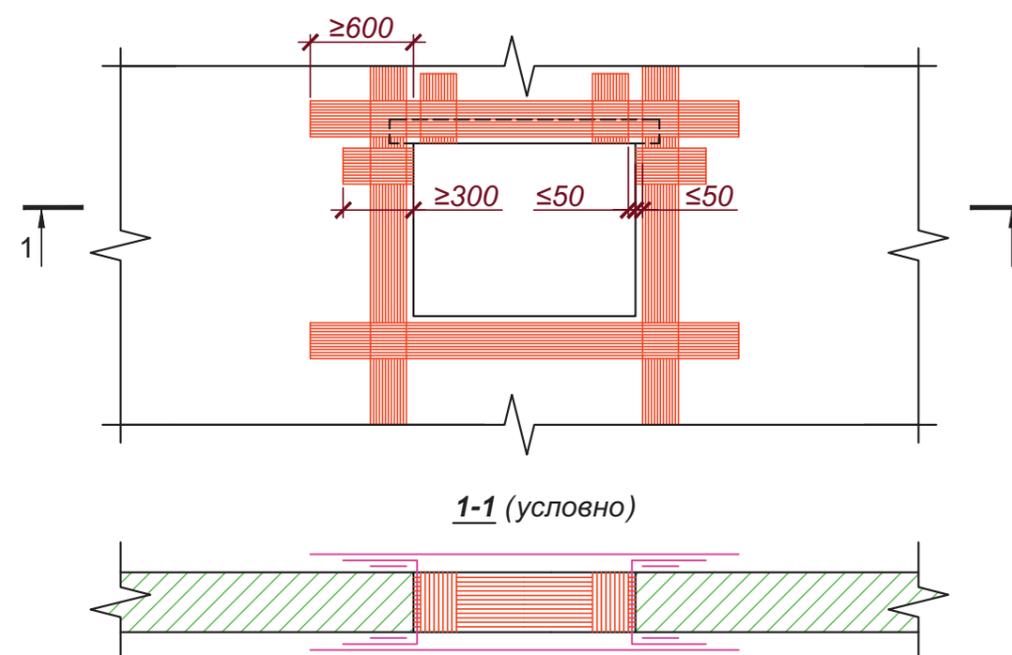
Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры:

- 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300;
- 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300;
- 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300

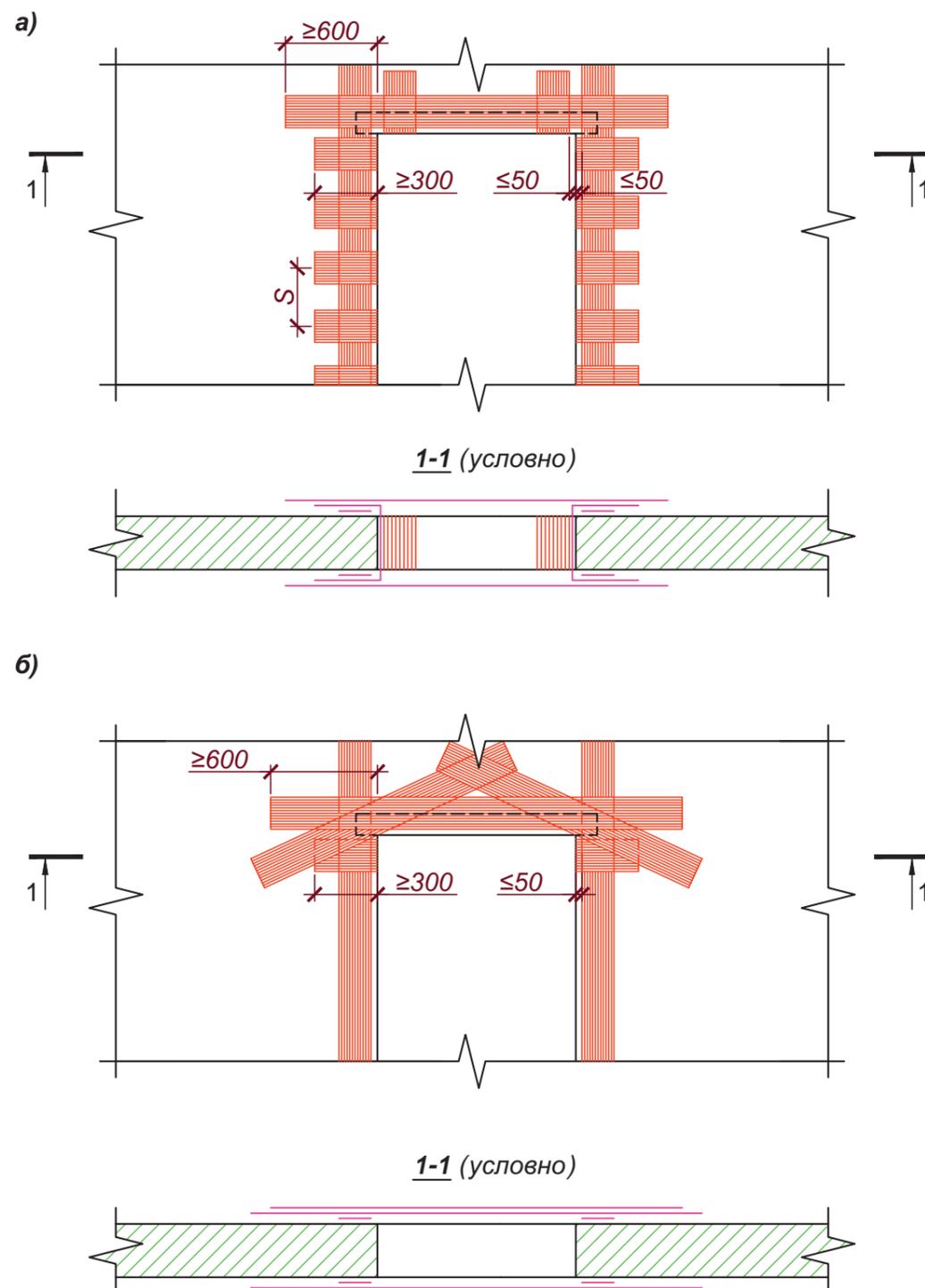
3.3.1. Усиление проемов ворот в каменной кладке стен СВА



3.3.2. Усиление оконных проемов в каменной кладке стен СВА



3.3.3. Усиление дверных проемов в каменной кладке стен СВА



3.4. Усиление зоны опирания перемычек над проемами

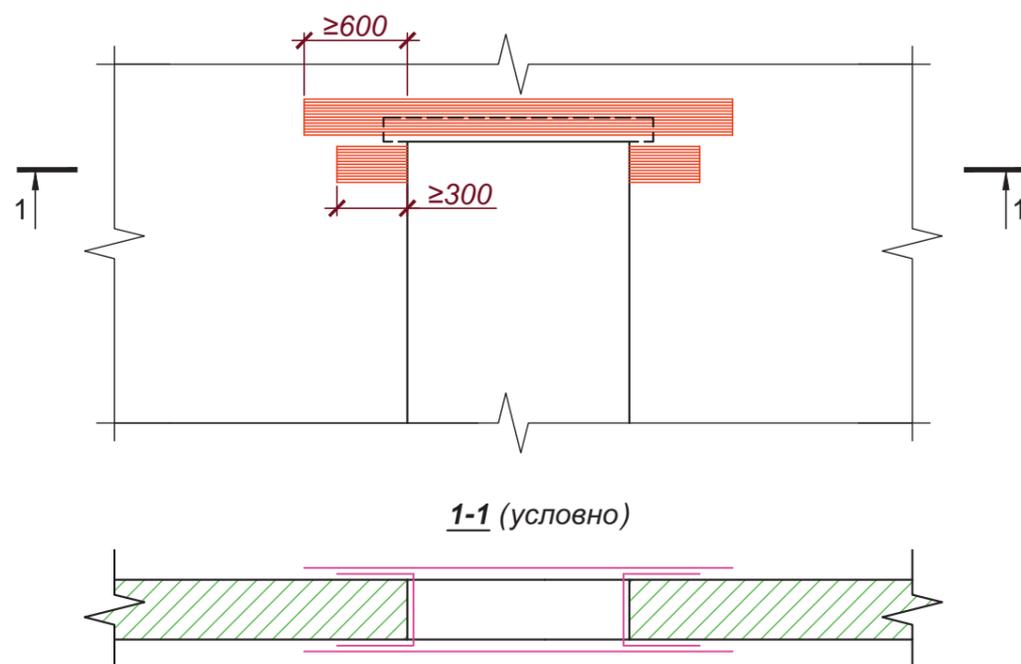
В данном разделе представлено решение по усилению зоны опирания перемычек над проемами в каменной кладке стен зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сейсмоопасных регионах с сейсмичностью 7–9 баллов.

В таблице 3.4 указаны условия применения предложенного варианта усиления, особенности расчета и конструирования.

Таблица 3.4

Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.4.1. Усиление зоны опирания перемычек над проемами		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами в случае, когда длина опирания перемычки на каменную кладку недостаточна	Повышение прочности кладки под перемычкой за счет создания эффекта обоймы, а также дополнительная анкеровка перемычки в каменную кладку (рис. 3.4.1)	Создание эффекта обоймы достигается путем наклейки П-образных горизонтальных элементов из однонаправленных лент FibArm Tape на боковые поверхности проема непосредственно под перемычкой. Напуск лент на боковые стороны стен принимается не менее 300 мм. Дополнительная анкеровка перемычки в каменную кладку осуществляется наклейкой горизонтальных лент на перемычку с двух сторон стены. Напуск ленты за грань проема – не менее 600 мм. Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры: – 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300; – 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300; – 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300

3.4.1. Усиление зоны опирания перемычек над проемами



3.5. Усиление железобетонных ригелей

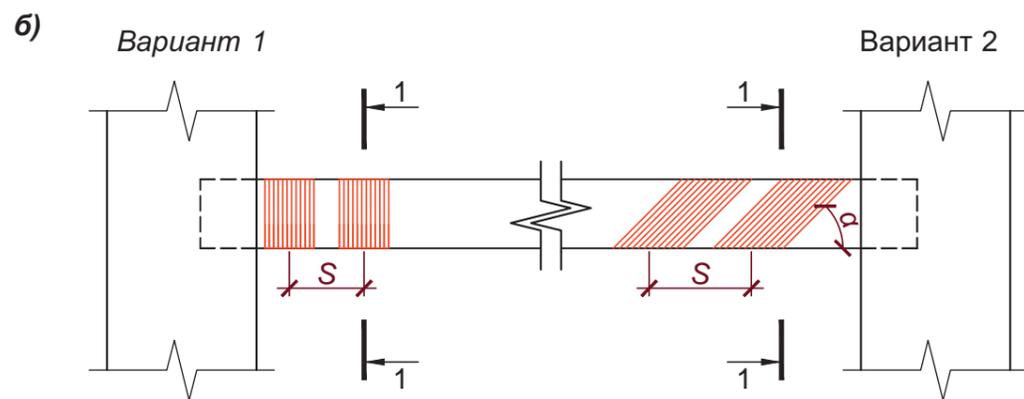
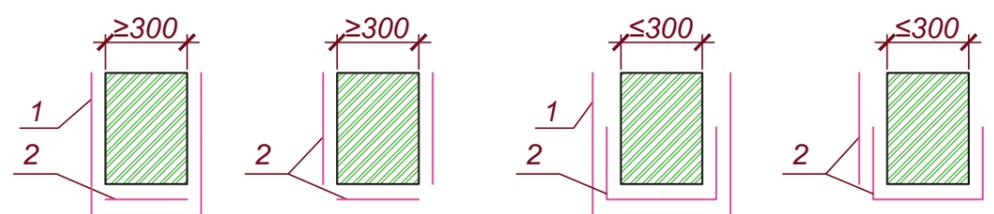
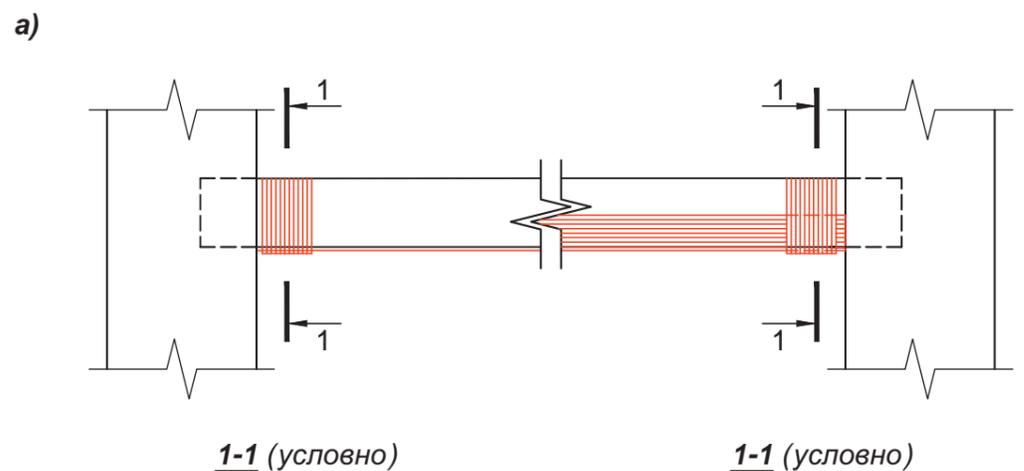
В данном разделе представлены варианты усиления железобетонных ригелей зданий и сооружений, эксплуатирующихся в сейсмоопасных регионах с сейсмичностью 7–9 баллов.

В таблице 3.5 указаны условия применения предложенных вариантов усиления, особенности расчета и конструирования.

Таблица 3.5

Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.5.1. Усиление железобетонных ригелей за счет СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами и железобетонными ригелями или балками при их недостаточной несущей способности на действие момента и поперечной силы при статических и сейсмических нагрузках	<p>а) Повышение прочности нормальных сечений за счет наклейки продольных элементов СВА на растянутую грань ригеля (рис.3.5.1.а)</p> <p>б) Повышение прочности наклонных сечений за счет наклейки поперечных элементов СВА на боковые грани ригеля (рис. 3.5.1.б)</p>	<p>а) Расчет усиления нормальных сечений железобетонных ригелей приведен в п 4.3 и 4.4. Поперечное сечение продольных элементов СВА назначается из условий восприятия дефицита момента поперечным сечением ригеля. Количество слоев элементов СВА по высоте назначается не более 3. Продольные элементы СВА в обязательном порядке анкеруются поперечными элементами из СВА, наклеиваемых поверх продольных элементов на концах изгибаемых элементов. При ширине ригелей более 300 мм продольные элементы СВА наклеиваются в пределах ширины растянутой грани. При ширине ригелей менее 300 мм продольные элементы СВА заводятся на боковые грани ригелей.</p> <p>б) Расчет усиления наклонных сечений железобетонных ригелей приведен в п. 4.3.2. Поперечное сечение элементов СВА назначается из условий восприятия дефицита поперечной силы сечением ригеля. Количество рядов поперечных элементов определяется из расчета, но во всех случаях не менее 2. Количество слоев элементов СВА по высоте назначается не более 3. Поперечные элементы СВА могут наклеиваться перпендикулярно продольной оси ригеля (вариант 1) и под углом (вариант 2). Поперечные элементы СВА могут иметь П-образную форму и также наклеиваются только на боковые стороны ригеля</p>

3.5.1. Усиление железобетонных ригелей за счет СВА



1-1 (условно)



3.6. Усиление плит перекрытия

В данном разделе представлены варианты усиления железобетонных плит перекрытия зданий, эксплуатирующихся в сейсмоопасных регионах с сейсмичностью 7–9 баллов.

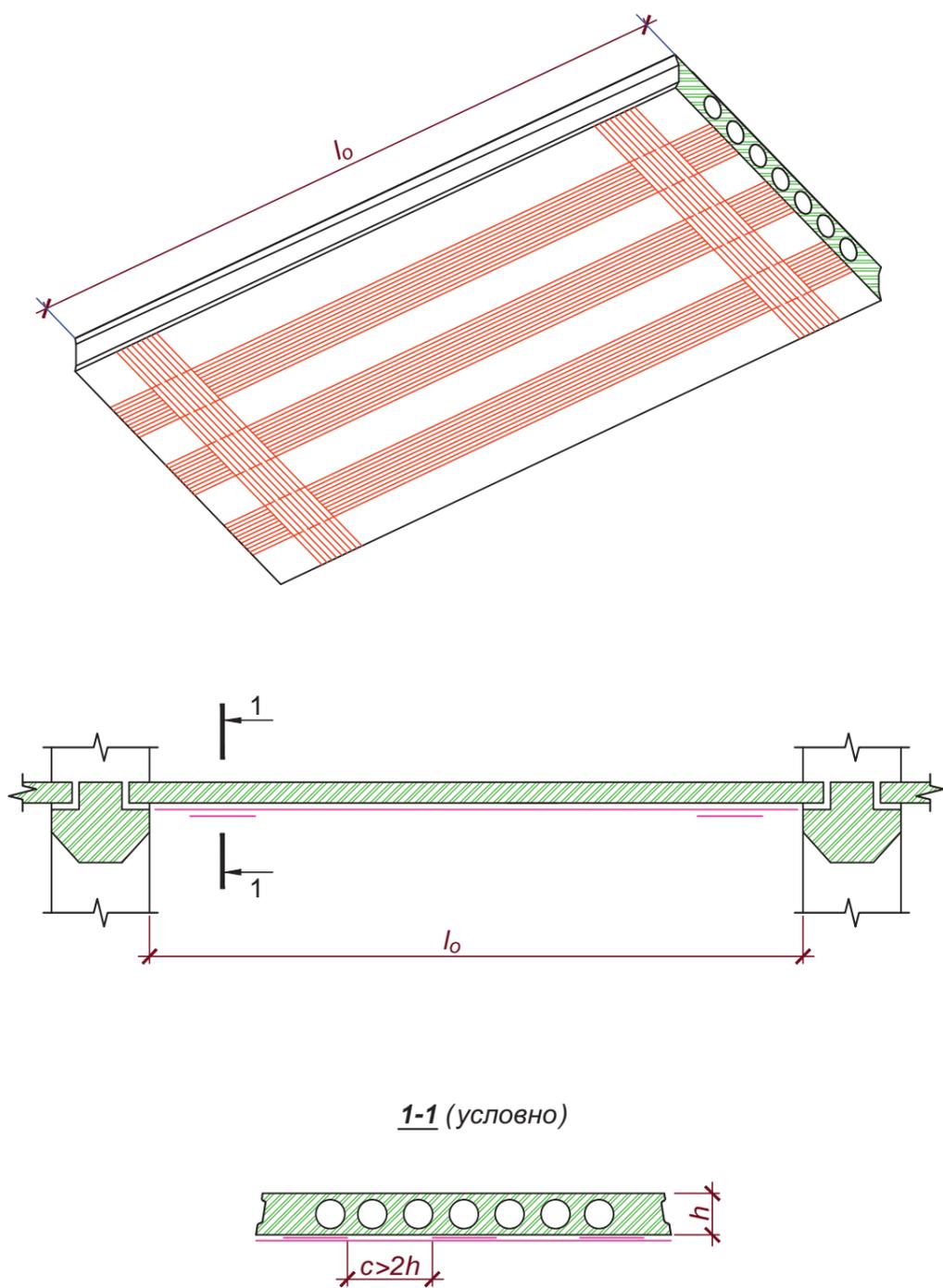
В таблице 3.6 указаны условия применения предложенных вариантов усиления для пустотных и ребристых плит перекрытия, особенности расчета и конструирования.

Таблица 3.6

Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.6.1. Усиление железобетонных плит перекрытия за счет СВА		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения с каменными стенами и железобетонными плитами перекрытия при их недостаточной несущей способности на действие момента при статических и сейсмических нагрузках	<p>а) Повышение прочности нормальных сечений пустотных железобетонных плит перекрытия за счет наклейки продольных элементов СВА на нижнюю растянутую поверхность плит (рис. 3.6.1.а)</p> <p>б) Повышение прочности нормальных сечений ребристых железобетонных плит перекрытия за счет наклейки продольных элементов СВА на растянутые ребра плиты (рис. 3.6.1.б)</p>	<p>а) Расчет усиления нормальных сечений железобетонных пустотных плит перекрытия приведен в п. 4.3.1. Поперечное сечение продольных элементов СВА назначается из условий восприятия дефицита момента поперечным сечением плиты. Количество слоев элементов СВА по высоте назначается не более 3.</p> <p>б) Расчет усиления нормальных сечений железобетонных пустотных плит перекрытия приведен в п. 4.3.1. Усиление ребристых плит производится путем наклейки одинакового количества СВА на каждое продольное ребро. Продольные элементы СВА в обязательном порядке анкеруются поперечными элементами из СВА, наклеиваемых поверх продольных элементов на концах плит</p>

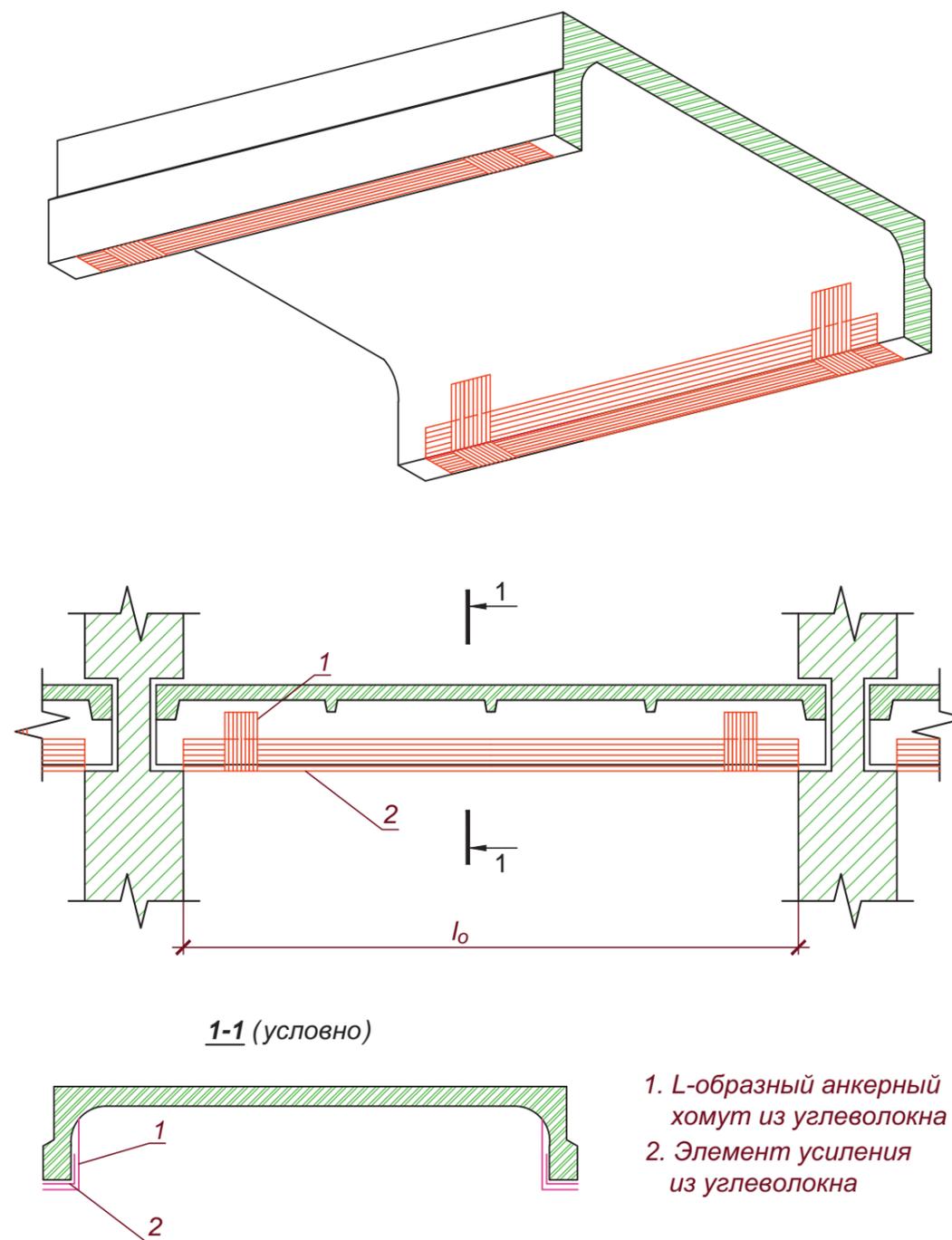
3.6.1. Усиление железобетонных плит перекрытия за счет СВА

а) пустотные плиты



3.6.1. Усиление железобетонных плит перекрытия за счет СВА

б) ребристые плиты



3.7. Конструктивные решения по созданию единых дисков перекрытия

В данном разделе представлены варианты конструктивных решений по созданию единых дисков перекрытия зданий и сооружений.

В таблице 3.7 указаны условия применения предложенных конструктивных решений, особенности их расчета и конструирования.

Таблица 3.7

Область применения 1	Мероприятия по усилению 2	Особенности расчета и конструирования 3
3.7.1. Создание единого диска перекрытия		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения со стенами из каменной кладки с железобетонными плитами перекрытия при отсутствии горизонтальных антисейсмических поясов в уровне перекрытия	<p>а) Закрепление плит перекрытия к несущим наружным стенам (рис. 3.7.1.а)</p> <p>б) Обеспечение совместной работы плит за счет наклейки лент (рис. 3.7.1.б)</p> <p>в) Обеспечение совместной работы плит за счет сплошной наклейки двунаправленной ткани (рис. 3.7.1.в)</p> <p>г) Обеспечение совместной работы плит в местах опирания на внутренние стены (рис. 3.7.1.г)</p>	<p>а) Сечение и шаг жгутов принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки: – 7 баллов, диаметр жгутов 10 мм с шагом 800 мм, но не менее 2 штук на каждую сторону плиты; – 8 баллов, диаметр жгутов 15 мм с шагом 600 мм, но не менее 2 штук на каждую сторону плиты; – 9 баллов, диаметр жгутов 15 мм с шагом 400 мм, но не менее 3 штук на каждую сторону плиты.</p> <p>Для пропуска жгутов в наружной стене сверлится отверстие диаметром, на 5 мм превышающим диаметр жгута. Анкеровка жгута на плитах и стенах принимается не менее 300 мм. При этом оба конца жгута наклеиваются в виде веера с шириной основания не менее 200 мм.</p> <p>б) Возможно два варианта устройства лент. Вариант 1. Наклейка однонаправленных лент по диагоналям плит. Вариант 2. Наклейка однонаправленных лент в поперечном направлении плит. Наклейка лент осуществляется по верхней плоскости плит. Сечение лент принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры: – 7 баллов, лента FibArm Tape 200/300 или FibArm Tape 230/300; – 8 баллов, лента FibArm Tape 300/300 или FibArm Tape 350/300; – 9 баллов, лента FibArm Tape 530/300</p>

		<p>Перед наклейкой лент производится очистка вертикальных швов между плитами с последующим их заполнением мелкозернистым бетоном классом не ниже В15. Наклейка лент по варианту 1 производится под углом 40–50° относительно плит.</p> <p>в) Наклейка двунаправленной ткани производится по всей верхней поверхности плит. Рекомендуется, при дополнительном обосновании, принимать следующие типоразмеры: – 7 баллов, FibArm Tape 220/1200 twill; – 8 баллов, FibArm Tape 300/1200 twill; – 9 баллов, FibArm Tape 450/1200 twill.</p> <p>Перед наклейкой лент производится очистка вертикальных швов между плитами с последующим их заполнением мелкозернистым бетоном классом не ниже В15.</p> <p>г) Соединение тканей между собой производится в нахлестку с длиной анкеровки не менее 250 мм. Сечение, шаг жгутов и требования к их установке принимаются аналогично п. 3.7.1.а</p>
--	--	---

3.7.1. Создание единого диска перекрытия

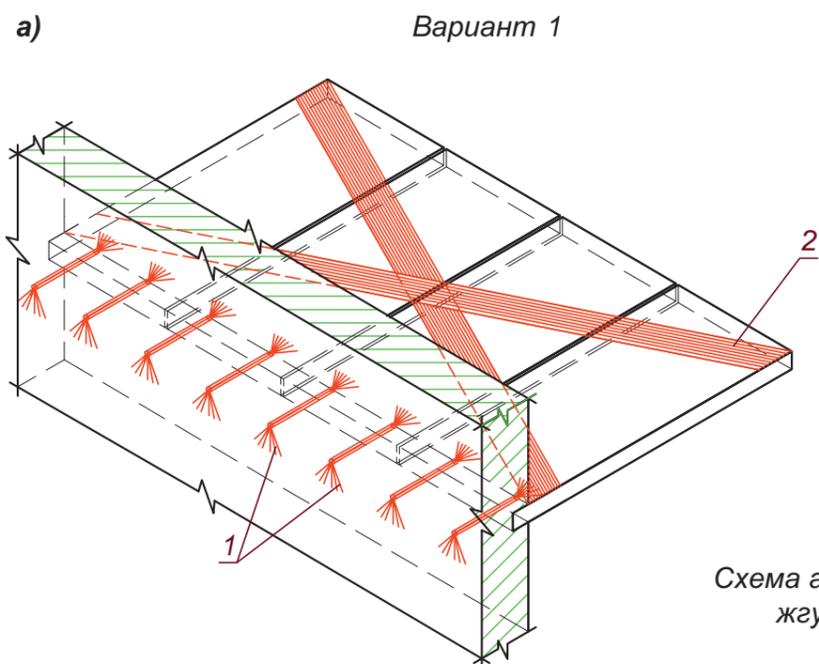
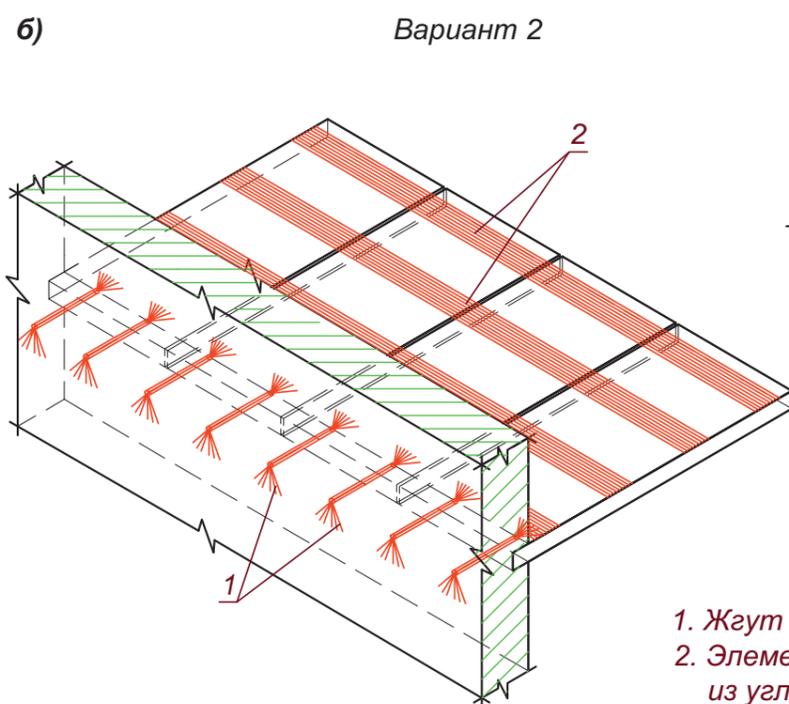
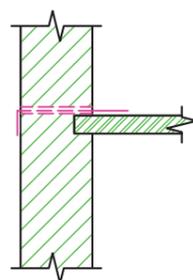


Схема анкеровки
жгутов:



1. Жгут из углеволокна
2. Элементы усиления из углеволокна

3.7.1. Создание единого диска перекрытия

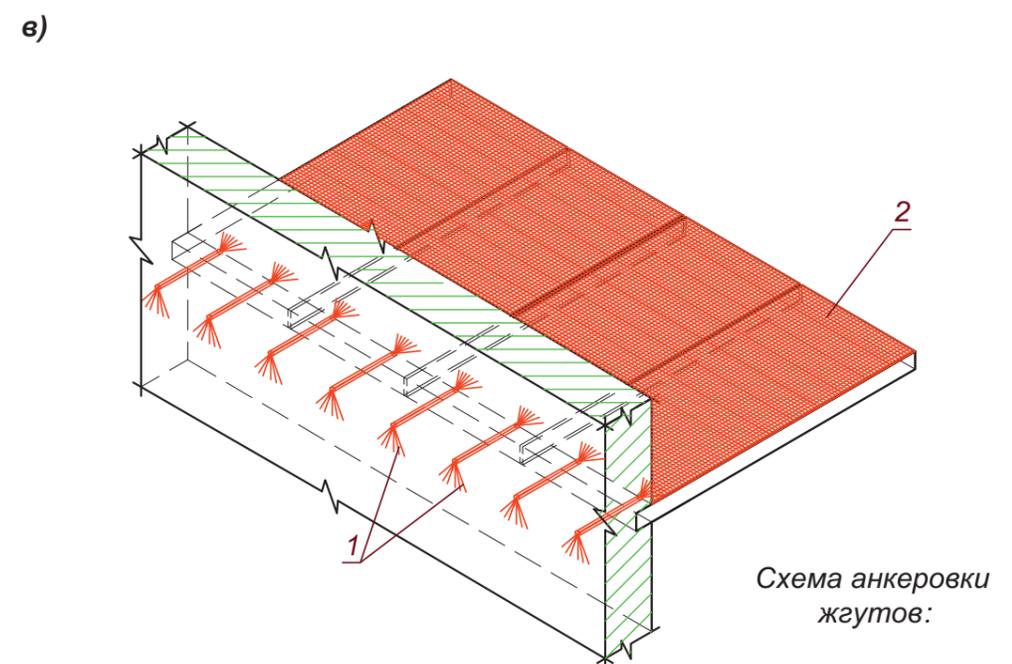
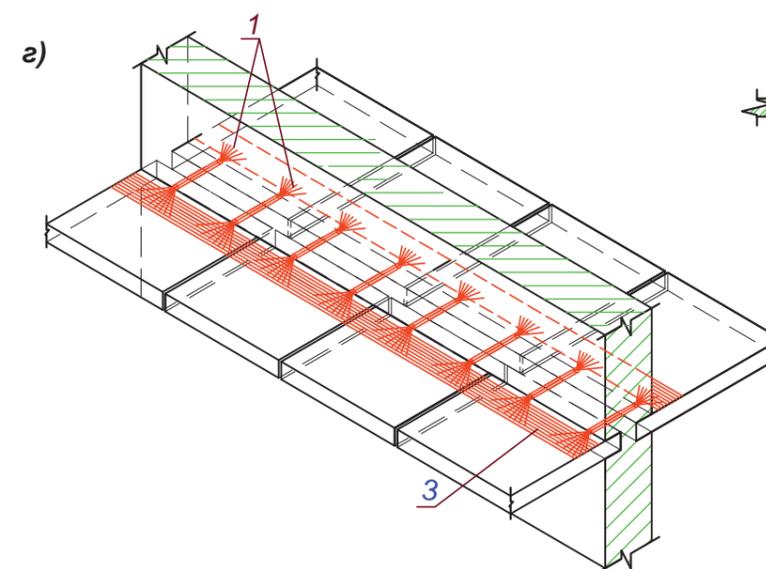
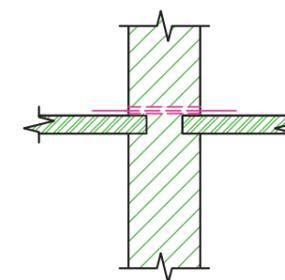


Схема анкеровки
жгутов:



1. Жгут из углеволокна
2. Двухнаправленная ткань из углеволокна
3. Элементы усиления из углеволокна

3.8. Усиление узлов сопряжения ригелей с колонной

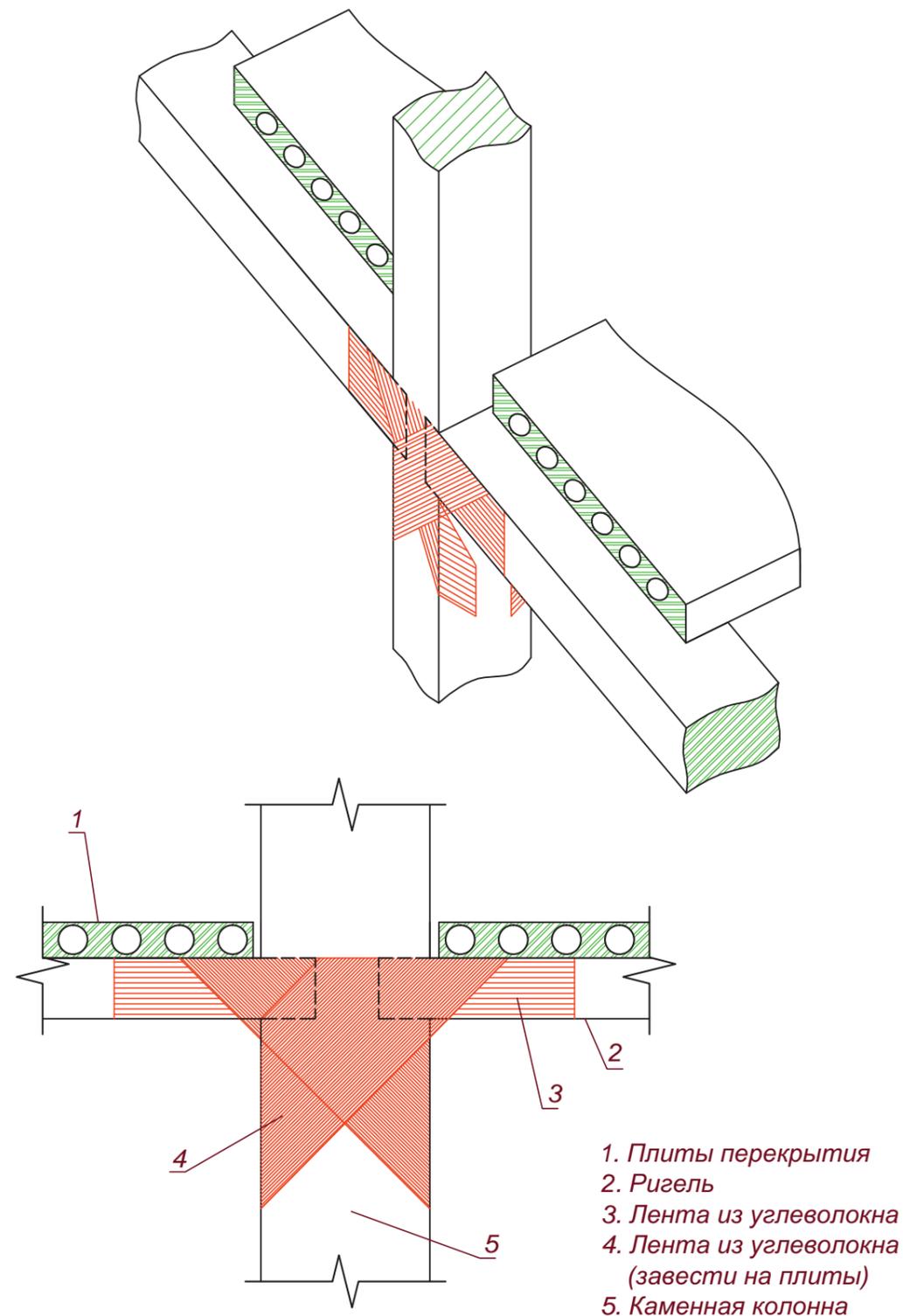
В данном разделе представлено конструктивное решение по усилению узла сопряжения железобетонных ригелей с каменной колонной.

В таблице 3.8 указаны условия применения предложенного конструктивного решения, особенности их расчета и конструирования.

Таблица 3.8

Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.8.1. Усиление узлов сопряжения ригелей с колоннами		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения со стенами из каменной кладки при недостаточном закреплении ригелей к колонне и между собой	Закрепление ригелей к колонне и между собой с помощью лент (рис. 3.8.1)	Усиление узла сопряжения ригеля с колонной производится конструктивно с применением лент FibArm Tape 530/300. Длина анкеровки ленты на ригеле – не менее 600 мм. Со всех углов, на которые наклеивается лента, в обязательном порядке снимать фаску 20 мм

3.8.1. Усиление узлов сопряжения ригелей с колоннами



3.9. Создание диафрагм жесткости

В данном разделе представлены варианты конструктивных решений по созданию диафрагм жесткости зданий и сооружений.

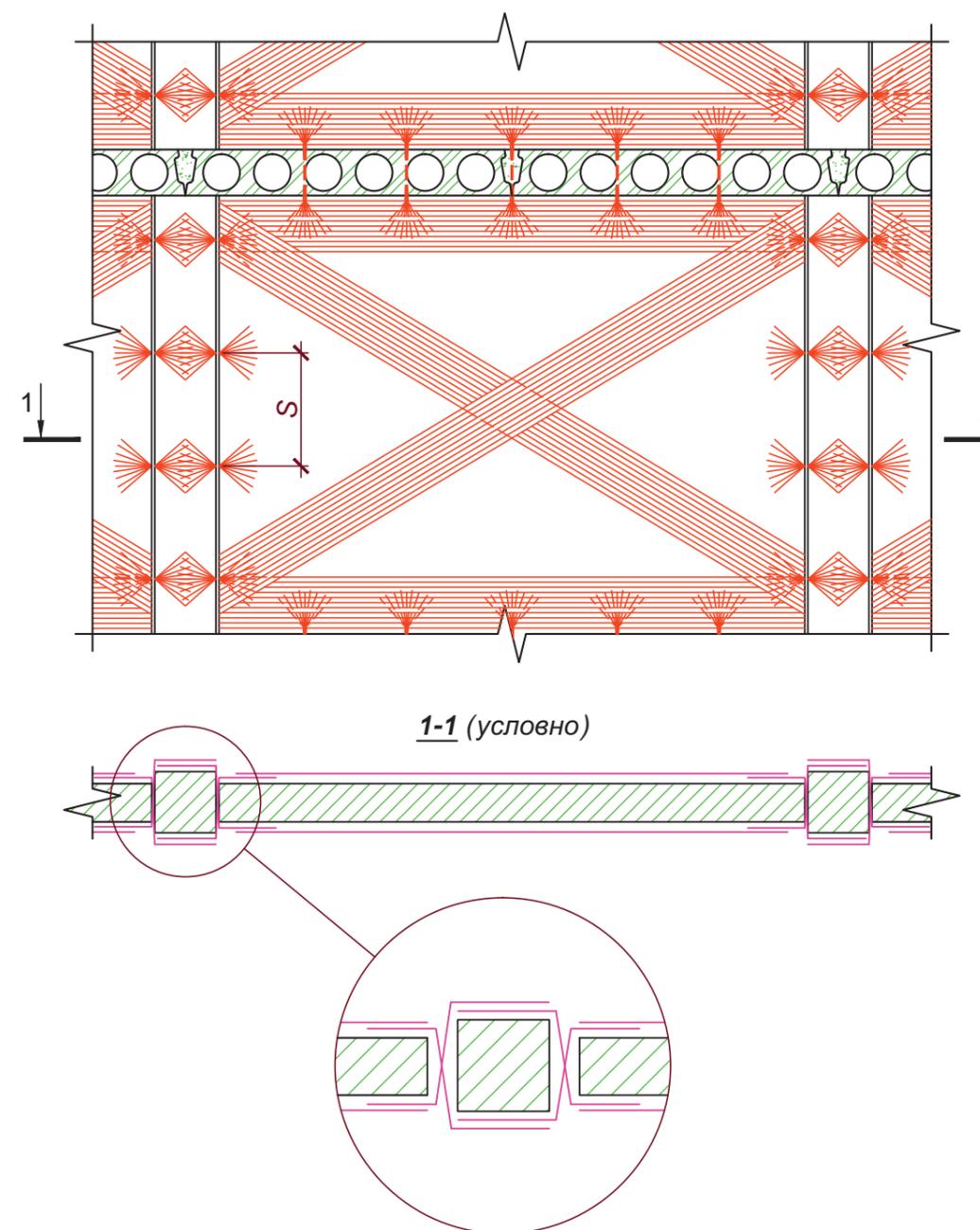
В таблице 3.9 указаны условия применения предложенных конструктивных решений, особенности их расчета и конструирования.

Таблица 3.9

Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.9.1. Создание диафрагм жесткости		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения со стенами из каменной кладки при недостаточной жесткости здания и наличии внутренней несущей стены по всей высоте здания в рассматриваемом сечении	Создание диафрагм жесткости из каменных стен за счет наклейки лент из углеволокна и жгутов (рис. 3.9.1)	<p>В качестве стены для создания диафрагмы жесткости могут использоваться существующие каменные стены или возводиться новые толщиной не менее 250 мм. При этом кладка должна быть не ниже 2-й категории с временным сопротивлением осевому растяжению по неперевязанным швам не менее 120 кПа. Сечение и шаг жгутов для соединения стен между собой по высоте принимается конструктивно в зависимости от сейсмичности площадки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 7 баллов, диаметр жгутов 10 мм с шагом 600 мм, но не менее 6 штук на каждую сторону стены; – 8 баллов, диаметр жгутов 15 мм с шагом 500 мм, но не менее 6 штук на каждую сторону стены; – 9 баллов, диаметр жгутов 15 мм с шагом 400 мм, но не менее 8 штук на каждую сторону стены. <p>Для пропуска жгутов в перекрытиях сверлятся отверстия диаметром на 5 мм больше диаметра жгута.</p> <p>Анкеровка жгута принимается не менее 300 мм. При этом оба конца жгута наклеиваются в виде веера с шириной основания не менее 200 мм. Кроме этого необходимо обеспечить соединение диафрагм к колоннам с помощью жгутов (вариант 1) или с помощью лент FibArm Tape (вариант 2). При этом диаметр жгута принимается не менее 15 мм, а лента FibArm Tape – 300/300. Количество жгутов (лент) принимается конструктивно с шагом – S не более 500 мм, но во всех случаях должно быть не менее 4 штук с каждой стороны стены. Усиление каменной кладки стен производится за счет наклейки с обеих сторон стены лент FibArm Tape 300/300 по диагоналям и вертикально по верх жгутов</p>

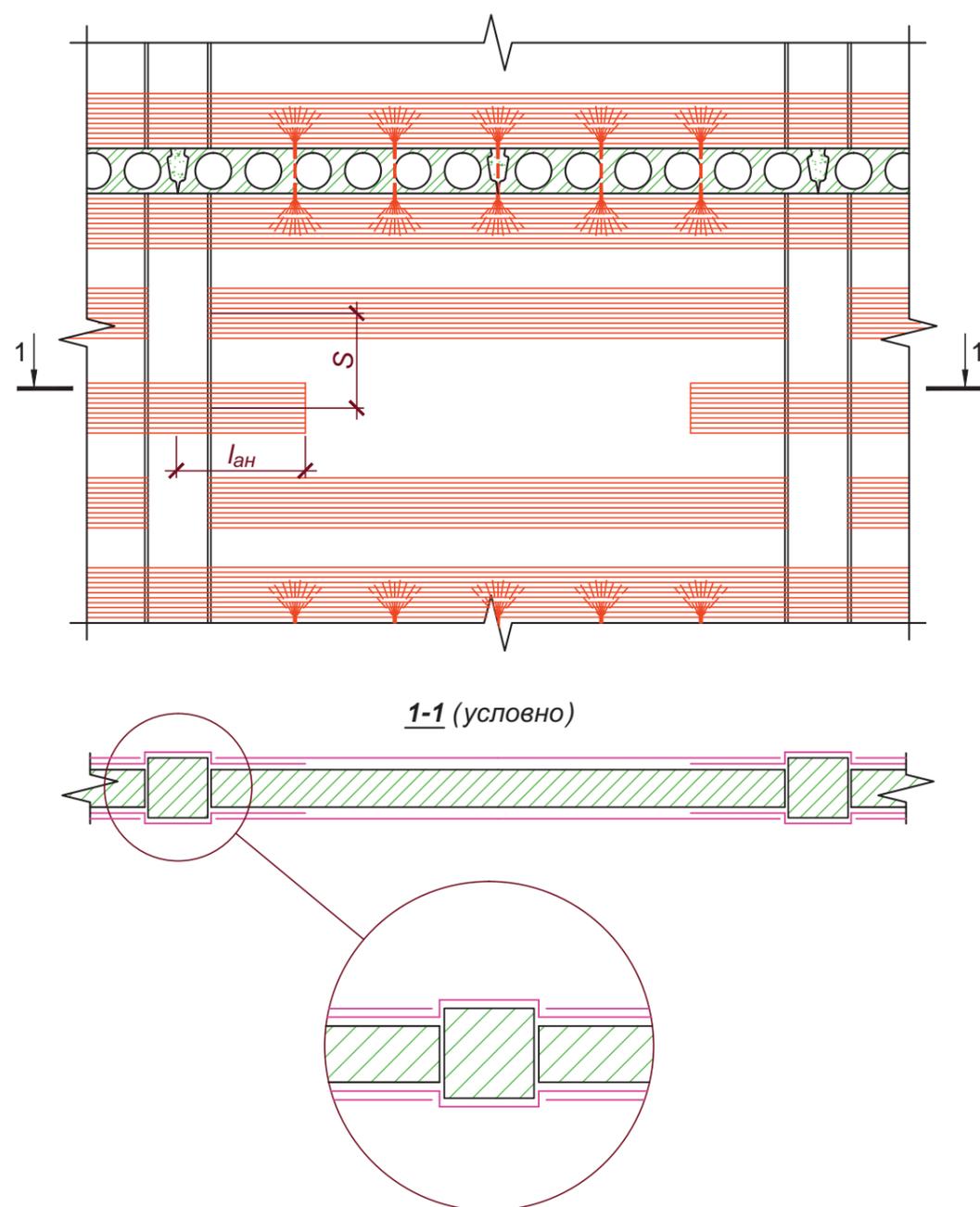
3.9.1. Создание диафрагм жесткости

Вариант 1



3.9.1. Создание диафрагм жесткости

Вариант 2



3.10. Усиление ненесущих перегородок

В данном разделе представлен вариант конструктивного решения по усилению внутренних ненесущих перегородок.

В таблице 3.10 указаны условия применения предложенного конструктивного решения, его особенности расчета и конструктивные требования.

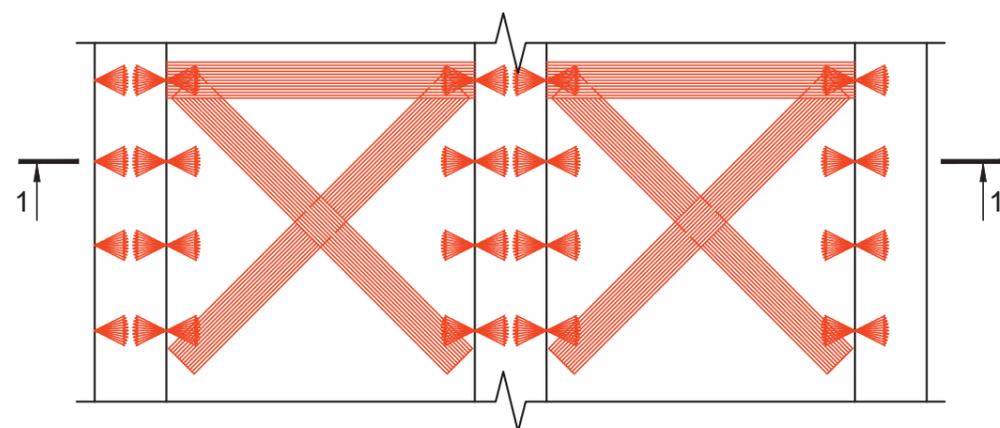
Таблица 3.10

Область применения	Мероприятия по усилению	Особенности расчета и конструирования
1	2	3
3.10.1. Усиление ненесущих перегородок		
В зданиях промышленного, общественного и культурно-бытового назначения со стенами из каменной кладки с внутренними перегородками, не отвечающими требованиям [18]	Усиление кирпичных перегородок путем наклейки лент FibArm Tape и жгутов (рис. 3.10.1)	Усиление кирпичных перегородок производится путем усиления кладки и узла крепления ее к колоннам. Усиление кладки производится путем наклейки лент FibArm Tape 530/300 по диагоналям с каждой стороны перегородки и наклейки горизонтальной ленты по верху перегородки. Крепление перегородок к колоннам осуществляется по двум вариантам: Вариант 1 – с помощью жгутов. Сечение и шаг жгутов принимается конструктивно, диаметр жгута – не менее 10 мм, а количество жгутов должно быть не менее 4 штук с каждой стороны колонны. Анкеровка жгута принимается не менее 300 мм. При этом оба конца жгута наклеиваются в виде веера с шириной основания не менее 200 мм. Вариант 2 – с помощью лент FibArm Tape 350/300, наклеиваемых с каждой стороны перегородки, не менее 3 по высоте

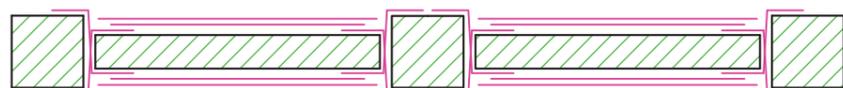
4. Расчетные положения

3.10.1. Усиление ненесущих перегородок

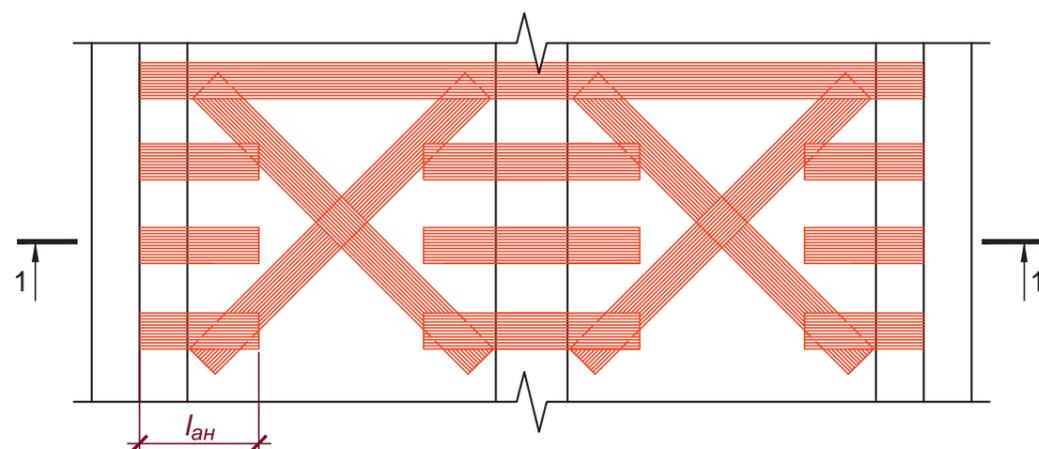
Вариант 1



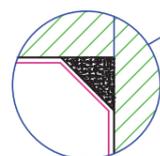
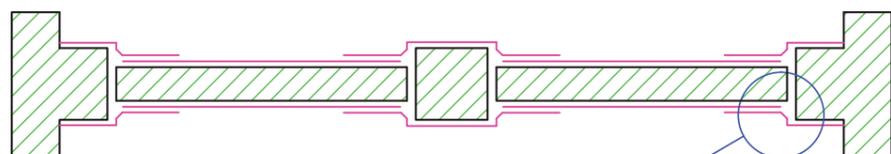
1-1 (условно)



Вариант 2



1-1 (условно)



4.1. Основные положения по расчету

Расчет элементов кирпичных зданий предполагает следующий порядок:

- проведение обследования с целью определения фактических физико-механических характеристик материалов и наличия конструктивных антисейсмических элементов;
- определения усилий в элементах здания с учетом фактических жесткостных характеристик строительных конструкций;
- расчет фактической несущей способности элементов здания с целью определения дефицита сейсмостойкости;
- разработка конструктивных решений по сейсмоусилению элементов здания с недостаточной сейсмостойкостью;
- определения усилий в элементах здания с учетом запроектированного усиления и изменения жесткостных характеристик строительных конструкций;
- проверка несущей способности элементов здания после усиления.

Систему внешнего армирования (СВА) FibArm следует проектировать только на восприятие растягивающих усилий с учетом совместности деформаций внешней арматуры и бетона конструкции.

Расчеты железобетонных конструкций с использованием СВА из полимерных композитов FibArm необходимо производить по предельным состояниям первой и второй групп.

Допускается расчет по второй группе предельных состояний не производить, если усиление железобетонных конструкций с использованием СВА FibArm производится без последующего увеличения действующих нагрузок по сравнению с нагрузками на стадии эксплуатации.

Для подбора сечения СВА FibArm на этапе обследования следует определить деформации в конструкции от действующих нагрузок. В общем случае они будут зависеть от истории нагружения и наличия трещин в конструкции.

При увеличении нагрузок, действующих на усиливаемую железобетонную конструкцию после наклеивания внешнего армирования, необходимо учитывать историю нагружения. При этом расчет необходимо выполнять 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.

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.

Проектирование усиления железобетонных конструкций с использованием СВА из полимерных композитов FibArm производится из условия совместной работы наклеенной внешней арматуры и бетонным основанием до наступления предельного состояния.

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

$$\varepsilon_f = \frac{R_f}{E_f}. \quad (1)$$

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 учетом коэффициентов надежности условия работы C_E определяется по выражению:

$$R_n = \frac{C_E}{\gamma_f} R_f. \quad (2)$$

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

Расчетная деформация растяжения:

$$\varepsilon_n = \frac{R_n}{E_f}. \quad (3)$$

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 лент – 1,2;

– для двунаправленных углеродных тканей – 1,8.

При выполнении наклейки ткани «мокрым» способом (пропитка ткани связующим осуществляется предварительно, после чего приклеивается уже пропитанная ткань по слою адгезива) указанные выше значения коэффициента надежности γ_f увеличиваются на 15%.

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

Совместная работа между наклеенной внешней арматурой и бетонным основанием обеспечивается предотвращением отслаивания, которое достигается путем ограничения их расчетных деформаций растяжения.

Предельные расчетные деформации СВА FibArm определяются по формуле:

$$\varepsilon_{fu} = K_m \varepsilon_n, \quad (4)$$

где K_m – коэффициент условия работы СВА FibArm, зависящий от жесткости элемента усиления:

$$\text{при } nE_n t_f \neq 180\,000 \quad K_m = \frac{1}{60\varepsilon_n} c1 - \frac{nE_n t_f}{360\,000} m \neq 0,9;$$

$$\text{при } nE_n t_f \geq 180\,000 \quad K_m = \frac{1}{60\varepsilon_n} c \frac{90\,000}{nE_n t_f} m \neq 0,9.$$

Расчетное сопротивление растяжению определяется по формуле:

$$R_{fu} = E_f \varepsilon_{fu}. \quad (5)$$

4.2. Расчет каменных конструкций

4.2.1. Расчет каменной кладки при действии горизонтальной силы в плоскости кладки

При расчете каменной кладки при действии горизонтальной силы в плоскости стены принимается коэффициент надежности по нагрузке γ_f равный 0,8.

Несущая способность усиленной кладки в плоскости определяется как сумма несущей способности кладки без усиления и несущей способности усиления СВА и равна:

$$Q_{n,s} = Q + Q_f. \quad (6)$$

Несущая способность каменной кладки без усиления определяется как минимальное значение несущей способности при внецентренном сжатии, действии главных растягивающих напряжений и срезе:

$$Q_n^{URM} = \min(Q_{bis}, Q_{dt}, Q_{tc}), \quad (7)$$

где Q_{bis} – предельное усилие среза по перевязанному шву;

Q_{dt} – предельное усилие при действии главных растягивающих напряжений;

Q_{tc} – предельное усилие смятия угла.

Повышение несущей способности после усиления определяется по формуле:

$$Q_f = * \begin{cases} p_{fv} s_f \frac{d_v}{s_f} & \text{при использовании лент} \\ p_{fv} \omega_f s_f \frac{d_v}{s_f} & \text{при использовании стержней} \end{cases} \quad (8)$$

где s_f – шаг стержней из углеволокна (см. рис. 1.1),

d_v – эффективная глубина для расчета сдвига, определяется как

$$d_v = \min(H, L).$$

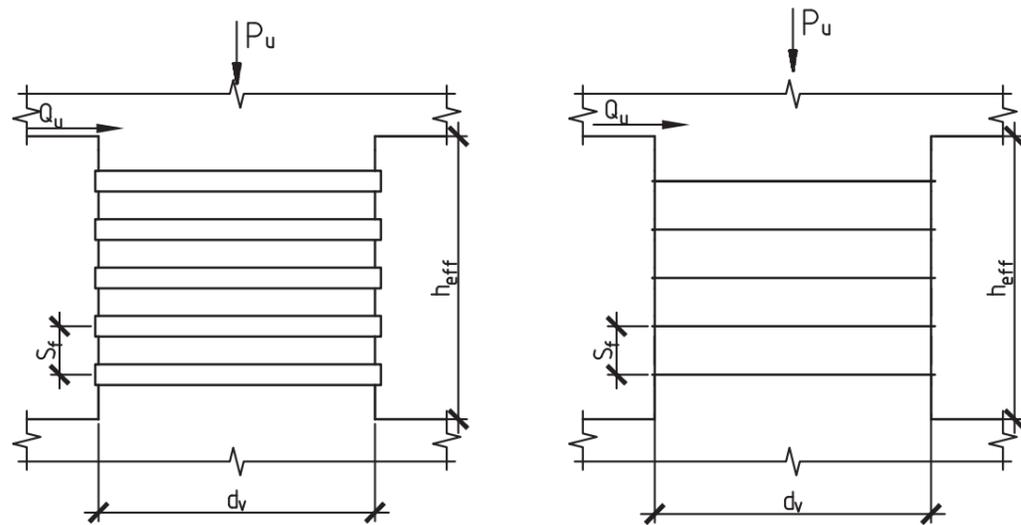


Рис. 4.1. Усиление стен при горизонтальном нагружении:

а) горизонтальными лентами; б) горизонтальными стержнями.

Полное усилие на стержень определяется по формуле:

$$p_{fv} = A_{f,bar} R_{fe} \quad (9)$$

где ω_f – коэффициент закрепления СВА к базовому материалу

$$\omega_f = \frac{1}{85} \frac{A_f E_f}{A_n \sqrt{R_m}} \quad (10)$$

где E_f – модуль деформации углеволокна,

Эффективность применения СВА:

$$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{fu} \# C_E \varepsilon_{fu} \quad (11)$$

$$R_{fe} = E_f \varepsilon_{fe} \quad (12)$$

где, R_{fe} – эффективное напряжение в СВА.

$$0,40, \text{ если } \omega_f \# 0,20;$$

$$k_v = *0,64 - 1,2 \omega_f, \text{ если } 0,20 < \omega_f \# 0,45; \quad (13)$$

$$0,10, \text{ если } \omega_f \geq 0,45.$$

4.2.2. Расчет каменной кладки при действии момента в плоскости кладки

Расчет по прочности усиленной каменной кладки при действии момента в плоскости кладки производится из условия:

$$M \# M_n. \quad (14)$$

При данном расчете коэффициент надежности по нагрузке γ_f принимается равным 0,6.

M_n – момент, воспринимаемый усиленной кладкой, определяется по формуле:

$$M_n = \sum_i F_i c d_i - \frac{\beta_1 c}{2} m + P_u c \frac{L}{2} - \frac{\beta_1 c}{2} m, \quad (15)$$

где d_i – расстояние до середины ленты;

β_1 – коэффициент приведения эпюры напряжений к прямоугольной принимается равным 0,7;

c – высота сжатой зоны.

Горизонтальное усилие (рис. 4.2), соответствующее изгибаемому моменту, равно:

$$Q_n \# \frac{M_n}{k h_{eff}}. \quad (16)$$

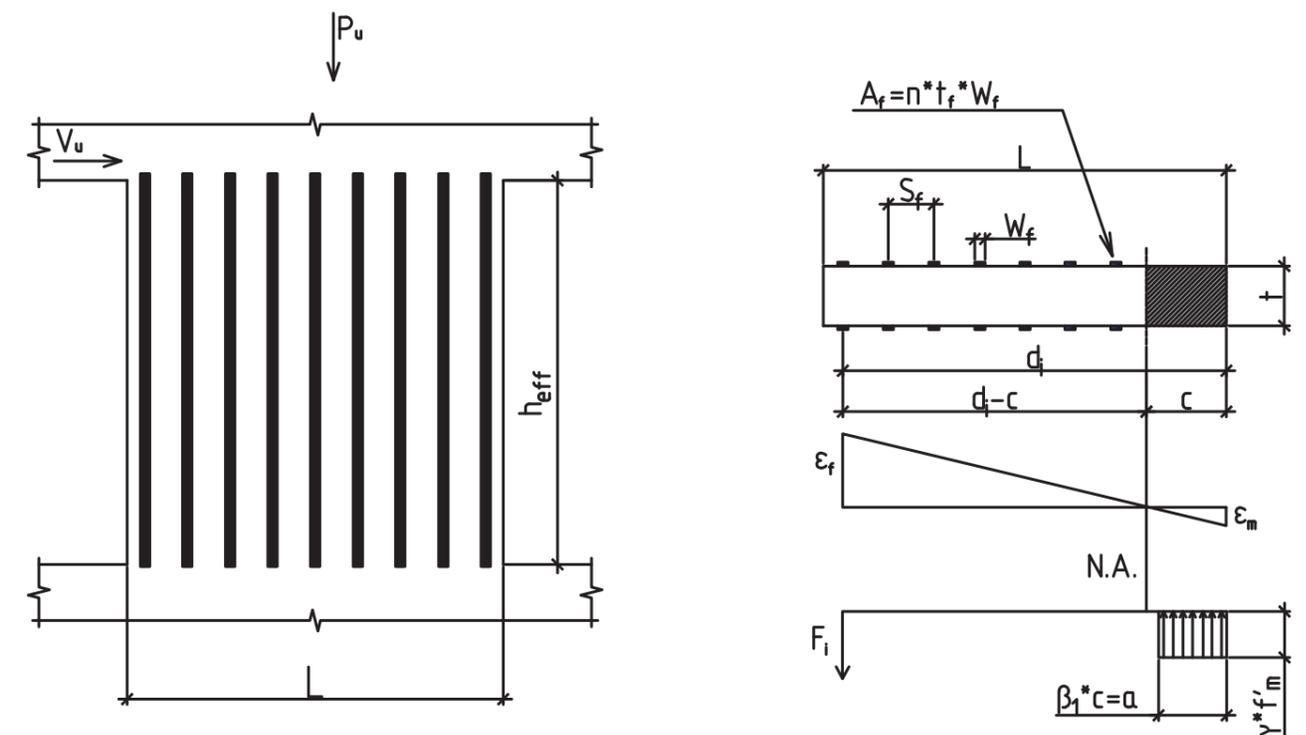


Рис. 4.2. Схема усиления простенка вертикальными лентами

В случае необходимости усиления каменной кладки на действие горизонтальной силы и изгибающего момента возможно применение схемы, представленной на рисунке 4.3.

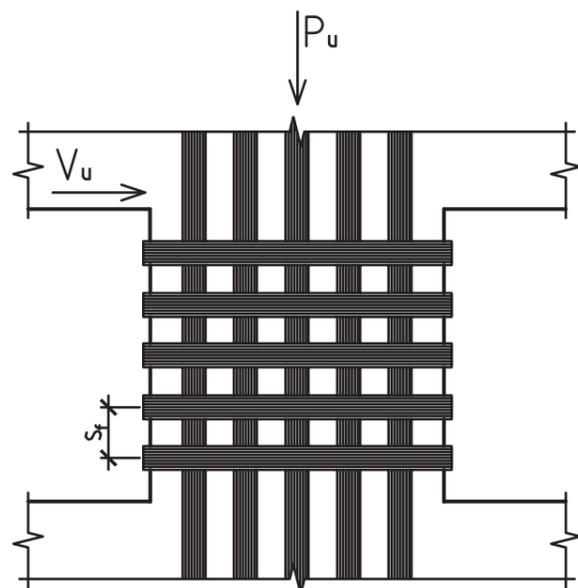


Рис. 4.3. Схема усиления простенка вертикальными и горизонтальными лентами

При этом производятся отдельные расчеты на действие горизонтальной нагрузки и момента в плоскости кладки.

4.2.3. Расчет каменной кладки при действии момента из плоскости кладки

Расчетные предпосылки:

- напряжения в углеволокне прямо пропорциональны их расстоянию от нейтральной оси;
- максимальные относительные деформации кладочного раствора 0,0025, кирпича 0,0035;
- углеволокно работает линейно до достижения предельной нагрузки;
- работой кладки на растяжение, а углеволокном на сжатие можно пренебречь;
- проскальзывание углеволокна по кладке отсутствует;
- при расчетах выгибом стены можно пренебречь при h/t менее 8.

При расчете стены из плоскости также необходимо провести расчет на сдвиг по методике, представленной в п. 4.2.2.

Расчет по прочности усиленной каменной кладки при действии момента из плоскости кладки производится из условия:

$$M \leq M_n. \quad (17)$$

При данном расчете коэффициент надежности по нагрузке γ_f принимается равным 0,6.

M_n – момент, воспринимаемый усиленной кладкой, определяется по формуле:

$$M_n = A_r R_{fe} c d_l - \frac{\beta_1 c}{2} m + P_U c \frac{t}{2} - \frac{\beta_1 c}{2} m, \quad (18)$$

где f_{fe} – эффективное напряжение в СВА.

$$R_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}. \quad (19)$$

Возможные разрушения:

- разрушение кладки при сжатии;
- отслоение СВА от кладки.

В связи с этим предельные деформации СВА ограничены следующей зависимостью:

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{mu} \frac{t - c}{c} \leq \min^k k_m \varepsilon_{fu}, C_E \varepsilon_{fh}. \quad (20)$$

4.2.4. Расчет каменных столбов

Учет влияния обойм из углеволокна на прочность кладки колонны учитывается путем введения коэффициента поверхностного армирования кладки:

$$\mu_{нов} = \frac{S_{арм}}{S_{ст}} 100, \quad (21)$$

где $\mu_{нов}$ – коэффициент поверхностного армирования стен;

$S_{арм}$ – площадь поперечного сечения полосы (обоймы) из углеволокна толщиной $\delta_{пол}$, определяемое по формуле:

$$S_{арм} = 2 \delta_{пол} h_{пол}, \quad (22)$$

$S_{ст}$ – площадь участка длинной стороны столба, приходящаяся на одну полосу из углеволокна, определяется по формуле:

$$S_{ст} = 2 h_{ст} h_{пол} + b h, \quad (23)$$

где $h_{ст}$ – длина большей стороны кирпичного столба;

$h_{пол}$, $\delta_{пол}$ – высота и толщина обоймы;

b – расстояние между обоймами.

Прочность кладки, усиленной обоймами, определяется по формуле:

$$R_{yc} = R_1 + \frac{2 \mu_{нов} R_f}{100}, \quad (24)$$

где R_1 – расчетное сопротивление сжатию неармированной кладки в рассматриваемый срок твердения раствора.

4.3. Расчет железобетонных элементов перекрытий каменных зданий по первой группе предельных состояний

4.3.1. Расчет изгибаемых элементов

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 растяжения R_f ;
- деформация сдвига в клеевом слое не учитывается.

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, равного расчетному сопротивлению растяжению R_f . 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 по прочности нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов, усиленных СВА из полимерных композитов FibArm, производится из условия:

$$M \leq M_{ult} \quad (25)$$

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.

Для изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения (рис. 4.4), усиленных СВА на грани элемента из полимерных композитов FibArm, значение M_{ult} определяют по формуле:

$$M_{ult} = N_b z_b \quad (26)$$

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:

$$N_b - R_s A_s - R_{fu} A_f = 0. \quad (27)$$

Расстояние z_b определяется в зависимости от высоты сжатой зоны бетона:

$$z_b = h - a_p - 0,5 X h, \quad (28)$$

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

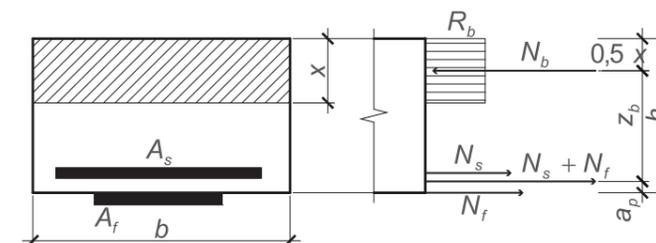


Рис. 4.4. Расчетная схема усиливаемого сечения

Высота сжатой зоны бетона усиливаемого элемента определяется из условия:

$$X = \frac{N_b}{R_b b}. \quad (29)$$

В расчет балок и ребер с шириной менее 300 мм, выполненных с загибом ленты на боковые поверхности балок, вводится только часть площади поперечного сечения внешнего армирования, ограниченная шириной балки – b .

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

Допускается при определении предельного изгибающего момента M_{ult} учитывать арматуру, расположенную в сжатой части сечения, при обеспечении конструктивных требований по предотвращению выпучивания продольной арматуры:

- если установлена поперечная арматура с шагом не более $15d$ и не более 500 мм (d – диаметр сжатой продольной арматуры);
- если поперечная арматура установлена с шагом не более $10d$ и не более 300 мм, при условии, что площадь сечения сжатой продольной арматуры, установленной у одной из граней элемента, более $1,5\%$.

4.3.2. Расчет прочности сечений, наклонных к продольной оси изгибаемого элемента

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.

Наклеивание СВА при усилении наклонных к продольной оси сечений производится в виде П-образных, в виде общего обертывания, охватывающего все сечение железобетонного элемента, а также наклеенных на боковую поверхность элемента (см. рис. 4.5).

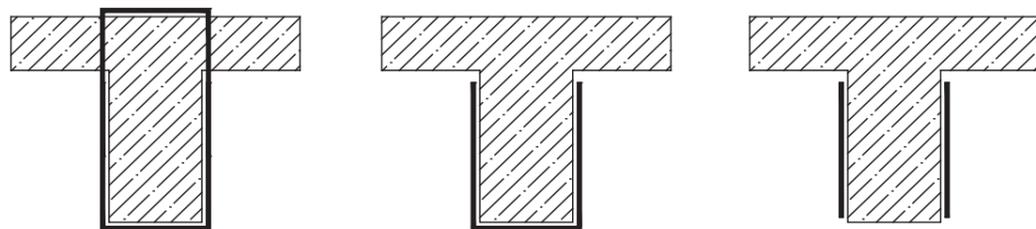


Рис. 4.5. Схемы наклейки СВА FibArm при усилении наклонных сечений

Рисунок 4.6 иллюстрирует параметры, которые используются для вычисления прочности наклонных сечений с помощью СВА.

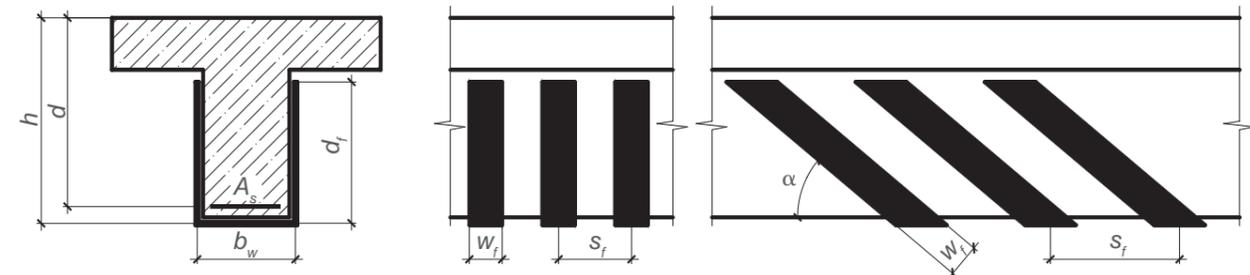


Рис. 4.6. Размещение СВА FibArm хомутов для усиления наклонных сечений

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.

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

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

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_f, \quad (30)$$

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:

$$Q_b = \frac{1,5 R_{bt} b h_0^2}{c}. \quad (31)$$

При этом Q_b принимается равной $0,5 R_{bt} b h_0 \leq Q_b \leq 2,5 R_{bt} b h_0$.

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

$$Q_{sw} = 0,75 q_{sw} c, \quad (32)$$

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

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{S_w}. \quad (33)$$

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:

$$Q_f = \psi_f \frac{A_{f,sh} \sigma_{fu}}{S_f} c, \quad (34)$$

где $c \leq 2d_f$;

$$A_{f,sh} = 2n_f w_f;$$

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

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 боковой поверхности слоев – 0,85.

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

$$Q_f = \psi_f \frac{A_{f,sh} \sigma_{fu} \sin \alpha}{S_f} c. \quad (35)$$

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:

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_f}{11900 \varepsilon_{ft}} \leq 0,75, \quad (36)$$

где L_f – эффективная длина анкеровки, определяемая по формуле:

$$L_f = \frac{23\,300}{(n_f E_f)^{0,58}}, \text{ но не менее } 100 \text{ мм}, \quad (37)$$

$k_1 = \sqrt[3]{\frac{R_b}{27J}}$ – коэффициент, учитывающий прочность бетона элемента,

R_b , в МПа;

k_2 – коэффициент, учитывающий схему наклейки:

– для трехсторонних (П-образных) хомутов $k_2 = c \frac{d_f - L_f}{d_f} m$;

– для двухсторонних хомутов $k_2 = \left(\frac{d_f - 2L_f}{d_f} \right)$.

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

$$M \leq M_s + M_{sw} + M_f, \quad (38)$$

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_s, M_{sw}, M_f – изгибающие моменты, воспринимаемые продольной, поперечной арматурой, поперечной СВА из полимерных композитов FibArm, пересекающие наклонное сечение соответственно:

$$M_s = N_s z_s; \quad (39)$$

$$M_{sw} = 0,5 Q_{sw} c; \quad (40)$$

$$M_f = 0,5 Q_f c. \quad (41)$$

4.3.3. Расчет по прочности нормальных сечений на основе нелинейной деформационной модели

Расчет прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента, по деформационной модели проводится в соответствии с (п. п. 6.2.21–6.2.41 [17]), 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 [17] при учете требований настоящего альбома;
- 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.

В случае двухэтапного расчета усиленной конструкции 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.

Расчет равнодействующих внутренних усилий осуществляется численным интегрированием эпюры напряжений в нормальном сечении элемента. Для этого сечение разбивается на малые по высоте полосы (см. рис. 4.7). Расчетная схема деформационной модели представлена на рис. 4.8.

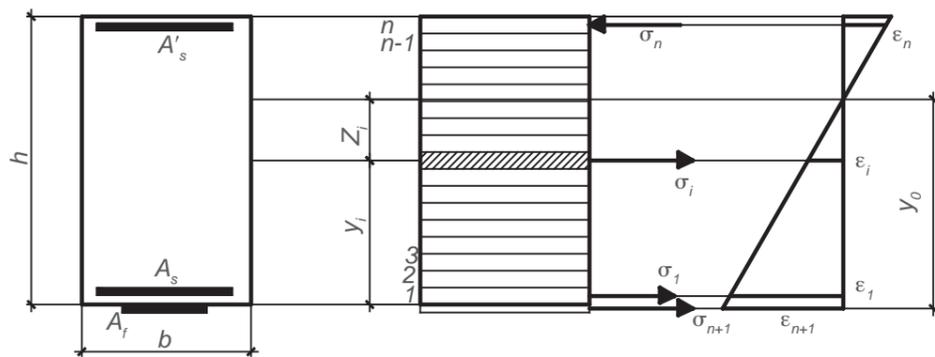


Рис. 4.7. Эпюры распределения деформаций и напряжений по высоте сечения

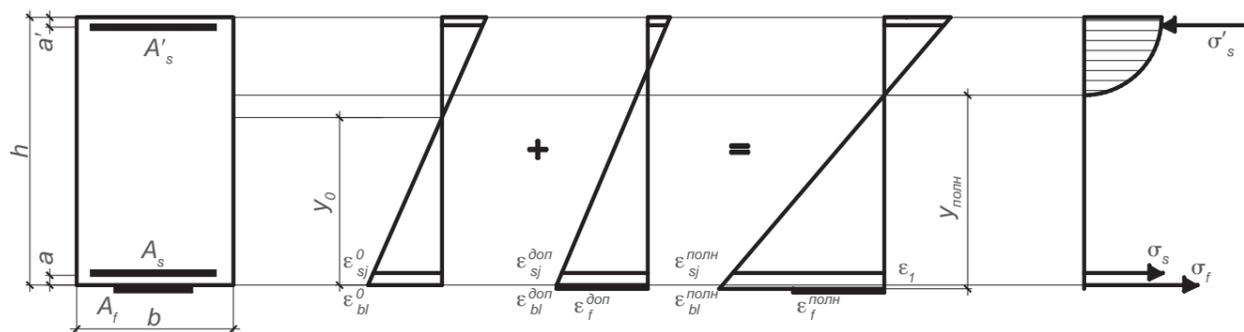


Рис. 4.8. Расчетная схема деформационной модели

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:

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} \quad (42)$$

Кривизна элемента:

$$\frac{1}{r_x} = \frac{\epsilon_{bj}}{Z_{bxi}} = \frac{\epsilon_{sj}}{Z_{sxj}} = \frac{\epsilon_{fk}}{Z_{fkk}} \quad (43)$$

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

$$\begin{aligned} D_{11} &= \int_i A_{bi} Z_{bxi}^2 E_b v_{bi} + \int_j A_{sj} Z_{sxj}^2 E_{sj} v_{sj} + \int_k A_{fk} Z_{fkk}^2 E_{fk} ; \\ D_{33} &= \int_i A_{bi} E_b v_{bi} + \int_j A_{sj} E_{sj} v_{sj} + \int_k A_{fk} E_{fk} , \end{aligned} \quad (44)$$

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:

$$v_{bi} = \frac{\sigma_{bi}}{E_{b,red} \epsilon_{bi}} \quad (45)$$

$$v_{bj} = \frac{\sigma_{bj}}{E_{sj} \epsilon_{bj}} \quad (46)$$

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

$$y_0 = \frac{\int_i A_{bi} y_i E_b v_{bi} + \int_j A_{sj} y_j E_{sj} v_{sj}}{D_{33}} \quad (47)$$

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, где:

$$Z_{bxi}^0 = y_0 - y_i \quad (48)$$

$$Z_{sxj}^0 = y_0 - y_j \quad (49)$$

В матрице D_{11} последнее слагаемое $\int_k A_{fk} Z_{fkk}^2 E_{fk}$ 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 $\frac{1}{r_x}$.

Повторяя расчет и уточняя значения текущих 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.

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 сече-

нии после усиления находятся как сумма независимых деформаций от нагрузки до усиления и дополнительных деформаций:

$$\varepsilon^{\text{полн}} = \varepsilon^0 + \varepsilon^{\text{доп}} \quad (50)$$

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

$$\varepsilon_r^{\text{полн}} = \varepsilon_b^{\text{доп}}, \quad (51)$$

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:

$$M_{\text{полн}} = M_0 + M_{\text{доп}}, \quad (52)$$

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

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

$$\frac{1}{r_x^0} = \frac{\varepsilon_{bi}^0}{Z_{bxi}^0} = \frac{\varepsilon_{sj}^0}{Z_{sxj}^0} \quad (53)$$

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:

$$y_{\text{полн}} = \frac{\sum_i A_{bi} y_i E_b v_{bi} + \sum_j A_{sj} y_j E_s v_{sj} + \sum_k A_{fk} E_{fk}}{D_{33}}; \quad (54)$$

$$\varepsilon_{bi}^{\text{полн}} = \varepsilon_{bi}^0 + M_x \frac{Z_{bxi}^0}{D_{11}}, \text{ где } Z_{bxi}^{\text{полн}} = y_{\text{полн}} - y_i; \quad (55)$$

$$\varepsilon_{sj}^{\text{полн}} = \varepsilon_{sj}^0 + M_{\text{доп}} \frac{Z_{sxi}^{\text{полн}}}{D_{11}}, \text{ где } Z_{sxi}^{\text{полн}} = y_{\text{полн}} - y_j; \quad (56)$$

$$\varepsilon_{fk}^{\text{полн}} = M_{\text{доп}} \frac{Z_{fjk}^{\text{полн}}}{D_{11}}, \text{ где } Z_{fjk}^{\text{полн}} = y_{\text{полн}} - y_k. \quad (57)$$

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.

Расчет нормальных сечений железобетонных элементов по прочности производят из условий:

$$|\varepsilon_{b,\text{max}}| \# \varepsilon_{b,\text{ult}}; \quad (58)$$

$$|\varepsilon_{s,\text{max}}| \# \varepsilon_{s,\text{ult}}; \quad (59)$$

$$|\varepsilon_{f,\text{max}}| \# \varepsilon_{f,\text{ult}}. \quad (60)$$

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

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

$$|\varepsilon_{bt,\text{max}}| \# \varepsilon_{bt,\text{ult}}; \quad (61)$$

$\varepsilon_{bt,\text{ult}}$ – определяется согласно (п. 6.2.3 [17]).

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

$$\varepsilon_{f,\text{ult}} \# \varepsilon_{fu}; \quad (62)$$

где ε_{fu} – предельная деформация растяжения СВА с учетом коэффициента условий работы и отслаивания, определяемая по формуле 4.

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

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.

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:

$$M_x = D_{11} \frac{1}{r_x} + D_{12} \frac{1}{r_y}; \quad (63)$$

$$M_y = D_{12} \frac{1}{r_x} + D_{22} \frac{1}{r_y}; \quad (64)$$

$$N = D_{13} \frac{1}{r_x} + D_{23} \frac{1}{r_y}. \quad (65)$$

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

$$D_{22} = \sum_i A_{bi} Z_{byi}^2 E_b V_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj}^2 E_s V_{sj} + \sum_k A_{fk} Z_{fkk}^2 E_{fk}; \quad (66)$$

$$D_{12} = \sum_i A_{bi} Z_{bxi} Z_{byi} E_b V_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj} Z_{syj} E_s V_{sj} + \sum_k A_{fk} Z_{fkk} Z_{fyk} E_{fk}; \quad (67)$$

$$D_{13} = \sum_i A_{bi} Z_{bxi} E_b V_{bi} + \sum_j A_{sj} Z_{sxj} E_s V_{sj} + \sum_k A_{fk} Z_{fkk} E_{fk}. \quad (68)$$

4.4. Расчет элементов по второй группе предельных состояний

4.4.1. Расчет по образованию трещин

Расчет по образованию трещин для усиленных железобетонных элементов следует производить в соответствии с общими указаниями (п. п. 7.2.1–7.2.11 [17]) с учетом работы СВА из полимерных композитов FibArm.

Момент инерции приведенного сечения определяется по формуле:

$$I_{red} = I + I_s \alpha + I_s' \alpha' + I_f \alpha_f. \quad (69)$$

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

$$A_{red} = A + A_s \alpha + A_s' \alpha' + A_f \alpha_f; \quad (70)$$

$$\alpha_f = \frac{E_f}{E_b}. \quad (71)$$

При определении момента образования трещин на основе нелинейной деформационной модели нужно учитывать работу бетона в растянутой зоне нормального сечения.

4.4.2. Расчет по раскрытию трещин

Расчет по раскрытию трещин для усиленных СВА элементов следует проводить в соответствии с указаниями (п. п. 7.2.12–7.2.15 [17]) с некоторыми изменениями, указанными ниже.

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

$$\alpha_{f1} = \frac{E_f}{E_{b,red}}. \quad (72)$$

Момент инерции приведенного поперечного сечения элемента I_{red} относительно его центра тяжести (п. 7.2.13 [17]) 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:

$$I_{red} = I_b + I_s \alpha_{s1} + I_s' \alpha_{s1}' + I_f \alpha_{f1}. \quad (73)$$

4.4.3. Расчет по деформациям

Расчет усиленных СВА из полимерных композитов элементов по деформациям следует проводить в соответствии с общими указаниями (п. 7.3 [17]).

Жесткость усиленного СВА FibArm железобетонного элемента на участках без трещин в растянутой зоне определяют согласно (п. 7.3.10 [17]).

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_s и СВА из полимерных композитов FibArm с коэффициентом приведения арматуры к бетону α_f' :

$$a_f' = \frac{E_f}{E_{b1}}. \quad (74)$$

При использовании нелинейной деформационной модели полную кривизну сечения на участках без трещин в растянутой зоне усиленного сечения определяют по выражению {(7.28) [17]}.

Значения кривизны, входящие в выражение {(7.28) [17]}, определяют согласно расчету изгибаемых элементов.

Полную кривизну на участках с трещинами в растянутой зоне усиленного сечения рекомендуется определять с помощью нелинейной деформационной модели по выражению {(7.29) [17]}.

Значения кривизны, входящие в выражение {(7.29) [17]}, определяют как и при расчете изгибаемых элементов.

Расчет усиленных СВА элементов из полимерных композитов FibArm по прогибам следует проводить в соответствии с (п. п. 7.3.1–7.3.6 [17]), принимая значения кривизны элементов, полученных расчетом при расчете изгибаемых элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом конструктивных решений повышения сейсмостойкости монолитных зданий. Отчетные материалы НИЦ 26 ЦНИИ МО РФ по Этапу 11.8 КНИР «Монолит» Подраздел 11, этап 8, шифр «Сейсмика-07». – 2008. – 68 с.
2. 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.
3. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
4. ГОСТ 24297-87. Входной контроль продукции. Основные положения.
5. Грановский А. В., Костенко А. Н., Мочалов А. Л. Усиление железобетонных колонн каркасных зданий в сейсмоопасных районах с использованием элементов внешнего армирования из углеволокна // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2007. – № 2. – С. 36–38.
6. Демишин С. В. Использование критерия Кулона–Мора для описания прочностных свойств бетона на примере бетонной призмы, армированной спиральной арматурой // Актуальные проблемы современного строительства: 64-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых. – СПб.: СПбГАСУ. – 2011. – С. 205–206.
7. Демишин С. В. Перспектива повышения безопасности зданий и защитных сооружений ГО при внешнем армировании углепластиками // Сб. материалов XXXVI межвузовской научно-практической конференции слушателей, курсантов и студентов «Инновационные материалы, технологии и социально экологические системы строительной индустрии». – Балашиха.: ВТУ. – 2011. – С. 152–154.
8. Кабанцев О.В., Тонких Г. П. и др. Пособие по оценке сейсмостойкости и сейсмоусилению общевоинских зданий с несущими стенами из каменной кладки. М.: 26 ЦНИИ МО РФ. – 2002. – 79 с.
9. Калинин А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений. Учеб. пособие. – АСВ. – М., 2002. – 160 с.
10. Рекомендации по обеспечению долговечности и надежности строительных конструкций гражданских зданий из камня и бетона спомощью композиционных материалов // НИЛЭП ОИСИ. – М.: Стройиздат, 1988. – 160 с.
11. Рекомендации по усилению железобетонных конструкций зданий и сооружений // Харьковский ПромстройНИИпроект. – Харьков, 1985.
12. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. – ООО «Интераква», НИИЖБ. – Москва, 2006.
13. Савин С. Н., Демишин С. В. Численное моделирование влияния внешнего армирования на образование трещин в изгибаемых железобетонных элементах. Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций. Материалы XV научно-методической конференции ВИТИ – СПб: ВИТИ, 2011.
14. Савин С. Н., Мочалов А.Л., Беяев В.С., Демишин С. В. и др. Экспериментальная оценка эффективности усиления железобетонных конструкций элементами внешнего армирования из углеволокна // Будівельніконструкції: Міжвідомчийнауковотехнічнийзбірникнауковихпраць (будівництво) / Державне підприємство «ДержавнийнауководосліднийбудівництваУкраїни». – Вып. 62: Книга 1, Київ, 2008. – с. 254–262.
15. СНиП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – Москва, 2004.
16. СНиП III-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции. – Москва, 2004.
17. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – Москва, 2004.
18. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. – Москва, 2011.
19. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
20. СТО 2256-002-2011. Система внешнего армирования из полимерных композитов FibArm для ремонта и усиления строительных конструкций. – Москва, 2011.
21. ТУ 1916-005-61664530-2011. Углеродные однонаправленные ленты для систем внешнего армирования (СВА). Технические условия. ЗАО «Препрег-СКМ».
22. ТУ 2257-012-61664530-2012. Состав FibArm Resin. Технические условия. ЗАО «Препрег-СКМ».
23. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. – М.: Стройиздат, 2007. – 184 с.
24. Савин С.Н., Демишин С.В. Эффективность усиления железобетонных колонн внешним армированием углеволокном // Жилищное строительство. – М: ООО РИФ «Стройматериалы». – 2011. – № 7. – С. 35–36.
25. American Concrete Institute 440.7R, «Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Systems for Strengthening Unreinforced Masonry System», ACI, 2010.

