

**А.А. Кондратчик**

## **Железобетонные конструкции**

Учебно-методический комплекс для студентов специальности  
1-70-02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

### **Часть 6**

Усиление строительных конструкций  
зданий и сооружений



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Кондратчик А.А.**

## **Железобетонные конструкции**

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальности 1-07 02 01  
«Промышленное и гражданское строительство»

### **Часть 6**

Усиление строительных конструкций  
зданий и сооружений

УДК 63.059.7(075.8)  
ББК 38.7-09я73  
К 79

Печатается по решению кафедры «Строительные конструкции» Брестского государственного технического университета (протокол заседания кафедры № 13 от 04.07.2019 года).

*Рецензенты:*

директор Республиканского научно-исследовательского  
и опытного-конструкторского предприятия «Научно-технический центр»,  
г. Брест, доктор. техн. наук В.Н. Деркач,

директор ОДО «Брестская инженерная группа»,  
г. Брест, кандидат технических наук О.Л. Образцов.

**Кондратчик А.А.**

К79 Железобетонные конструкции. В 6 ч. Ч. 6. Усиление строительных конструкций зданий и сооружений: конспект лекций / А.А. Кондратчик. – Брест: Издательство БрГТУ, 2019. – 178 с.

**ISBN 978-985-493-465-5**

В настоящем издании изложены вопросы, решаемые при разработке проектной документации по восстановлению (усилению) при реконструкции жилых, общественных и производственных объектов. Методика изложения позволяет вести углубленное изучение материала как самостоятельно с целью использования на стадии итогового контроля знаний (зачет, экзамен), так и при осуществлении практической деятельности.

Материалы предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», а также студентов других специальностей и специализаций, в учебных планах которых предусмотрен курс «Железобетонные конструкции».

УДК 69.059.7 (075.8)  
ББК 38.7-09я73

ISBN 978-985-493-465-5

© Кондратчик А.А., 2019  
© Издательство БрГТУ, 2019

## Содержание

Предисловие .....	6
Система принятых определений и обозначений .....	7
Тема №1. Вводная лекция .....	9
1.1 Цель и задачи курса.....	9
1.2 Литература по курсу.....	9
1.3 Причины вызывающие необходимость восстановления и усиления строительных конструкций.....	11
Тема №2. Восстановление бетонных и железобетонных конструкций.....	15
2.1 Необходимость выполнения работ по восстановлению .....	15
2.2 Подготовка поверхности строительных конструкций к ремонту.....	16
2.3 Выбор ремонтного материала .....	17
Тема №3. Усиление железобетонных конструкций.....	28
3.1 Выбор метода усиления .....	28
3.2 Классификация методов усиления .....	28
3.3 Техника безопасности при выполнении работ.....	30
3.4 Эксплуатация усиленных конструкций .....	32
Тема №4. Общие положения расчета усиления железобетонных конструкций .....	34
4.1 Основные принципы проектирования усиления .....	34
4.2 Общие положения по расчету.....	34
4.3 Определение характеристик материалов .....	35
4.4 Учет дефектов и повреждений при расчете.....	36
4.5 Обеспечение совместной работы конструкций и элементов усиления .....	37
Тема №5. Усиление растянутой зоны железобетонных конструкций .....	42
5.1 Расчет прочности усиленного нормального сечения .....	42
5.2 Обеспечение совместной работы.....	44
5.3 Расчет прочности контактного шва в растянутой зоне.....	45
5.4 Пример расчета №5.1. Усиление растянутой зоны приваркой арматуры усиления .....	47
5.5 Пример расчета №5.2. Усиление растянутой зоны приклейкой арматуры усиления.....	48
Тема №6. Усиление изгибаемых железобетонных конструкций наращиванием сечения.....	50
6.1 Усиление наращиванием при отсутствии сцепления между существующим и старым бетоном .....	50
6.2 Усиление наращиванием при наличии между существующим и новым бетоном. Пример расчета №6.1 .....	51
6.3 Усиление при устройстве рубашки и обоймы .....	56
6.4 Усиление наклонного сечения. Пример расчета №6.2 .....	56
Тема №7. Усиление сжатых железобетонных конструкций.....	62
7.1 Усиление центрально и внецентренно сжатых конструкций .....	62
7.2 Усиление сжатых элементов при устройстве железобетонной обоймы. Пример расчета №7.1 .....	62
7.3 Усиление сжатых элементов при устройстве металлической обоймы. Пример расчета №7.2.....	67

Тема №8. Усиление железобетонных конструкций с использованием напрягающего бетона.....	70
8.1 Экономическая целесообразность и область применения напрягающего бетона .....	70
8.2 Примеры практического использования напрягающего бетона при усилении.....	73
8.3 Технологические особенности выполнения работ .....	75
8.4 Рекомендации по выполнению операций .....	77
Тема №9. Усиление железобетонных конструкций с изменением напряженного состояния .....	79
9.1 Способы изменения напряженного состояния.....	79
9.2 Усиление шпренгельной затяжкой. Пример расчета №9.1 .....	82
Тема №10. Усиление железобетонных элементов с применением композитных материалов.....	86
10.1 Общие положения по расчету .....	86
10.2 Физико-механические характеристики материалов.....	88
10.3 Расчет усиления по предельным состояниям первой группы .....	92
10.3.1 Расчет прочности нормального сечения изгибаемого элемента.....	92
10.3.2 Расчет прочности наклонного сечения изгибаемого элемента .....	95
10.3.3 Расчет прочности сжатых элементов .....	97
10.3.4 Расчет прочности растянутых элементов .....	99
10.4 Конструктивные требования при проектировании усиления системой ФАП.....	100
10.5 Пример расчета №10.1. Усиление нормального сечения системой ФАП ..	100
10.6 Пример расчета №10.2. Усиление наклонного сечения системой ФАП .....	102
Тема №11. Усиление каменных конструкций.....	105
11.1 Необходимость усиления кирпичной кладки.....	105
11.2 Определение характеристик материалов кладки .....	106
11.3 Учет дефектов и повреждений при расчете.....	109
11.4 Проверочный расчет конструкций из каменных материалов.....	110
Тема №12. Расчет усиления каменных конструкций.....	112
12.1 Методы усиления каменных конструкций .....	112
12.2 Усиление обоймой из металла .....	113
12.3 Пример расчета №12.1. Усиление кирпичного столба металлической обоймой .....	115
12.4 Усиление обоймой из железобетона .....	118
12.5 Пример расчета №12.2. Усиление железобетонной обоймой кирпичной стены .....	122
12.6 Усиление растворной армированной обоймой.....	123
Тема №13. Расчет и конструирование перемычек.....	124
13.1 Ремонт и усиление перемычек.....	124
13.2 Перемычки из кирпича .....	124
13.3 Пример расчета №13.1. Усиление перемычек из неармированной кладки .....	130
13.4 Перемычки из металла при устройстве новых проемов .....	132
Тема №14. Усиление зданий из каменных материалов.....	134
14.1 Обеспечение пространственной жесткости здания.....	134
14.2 Усиление отдельных элементов здания .....	143

Тема №15. Современные методы усиления каменных конструкций .....	147
15.1 Общие положения по расчету .....	147
15.2 Усиление кладки композитными материалами .....	149
15.2.1 Расчет усиления центрально сжатых колонн. Пример расчета №15.1 ....	152
15.2.2 Расчет усиления кладки при действии изгибающего момента из плоскости стены. Пример расчета №15.2 .....	154
15.3 Усиление кладки периферийной заменой кладочного раствора. Пример расчета №15.3.....	157
15.4 Усиление кладки по технологии Sure Twist. Пример расчета №15.4 .....	160
Тема №16. Современные материалы и технологии для восстановления железобетонных и каменных конструкций .....	167
16.1 Восстановление железобетонных конструкций .....	167
16.2 Восстановление каменных конструкций.....	169
Методика организации проверки освоения учебного материала.....	174
1. Методические основы организации.....	174
2. Вопросы итогового контроля.....	175

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Материал, представленный в настоящем издании, является составной частью учебно-методического комплекса курса «Железобетонные конструкции», который предполагает издание следующих курсов.

Часть 1. Основы расчета и конструирования.

Часть 2. Проектирование многоэтажных зданий.

Часть 3. Проектирование одноэтажных зданий и сооружений.

Часть 4. Реконструкция зданий и сооружений.

Часть 5. Диагностика технического состояния зданий и сооружений.

Часть 6. Усиление строительных конструкций, зданий и сооружений.

Реализация плана учебно-методического комплекса позволит не только научить проектировать конструкции, здания и сооружения, но и обеспечить их долговечность в течении длительного периода эксплуатации. При нормативном сроке эксплуатации объекта в 50..100лет, периодичность замены технологии в зданиях производственного назначения составляет 5..10лет, а это изменение условий эксплуатации (нагрузки, агрессивность среды и т.д.). Адаптация существующих конструкций к новым условиям осуществляется в процессе реконструкции объекта и предполагает как оценку технического состояния, допустимых нагрузок, так и реализацию мероприятий по их восстановлению и усилению.

Реконструкция зданий – это комплекс работ, направленных на возобновление, улучшение, изменение инженерных, хозяйственно-экономических, эстетических параметров объекта. Сам процесс реконструкции (реставрации) имеет в своей основе не только экономический, но и социальный, культурный, исторический и воспитательный эффект. Сохранение исторических корней любого народа в первую очередь связано с сохранением, изучением и использованием созданного нашими предками наследия. Реконструкция объектов жилого фонда (около 33% всего фонда) способствует не только повышению комфортности жизни наших людей, но и благодаря этому, повышению эффективности работы, становлению уровня самосознания и патриотизма.

Реконструкция (модернизация) производственных объектов предполагает сокращение средств и времени на переход к современным технологиям, обеспечивающим выпуск как новых, так и более качественных товаров.

Комплекс мероприятий, который следует реализовать как на подготовительном этапе (сбор исходных данных, разработка проектной документации), так и при проведении работ (переустройство, надстройка, пристройка, усиление, восстановление), существенно отличается от «нового» строительства. Непрерывно меняются подходы, методы и технологии, сопутствующие этому процессу. Попытка зафиксировать у слушателя существующие сегодня подходы явно неблагоприятное занятие.

Необходимо создать методическую базу, опираясь на которую будущий специалист, как на стадии подготовки, так и в дальнейшем сможет самостоятельно повышать свой профессиональный уровень.

В настоящем издании учебно-методического комплекса изложение материала (перечень, построение, контрольные вопросы) стимулирует непрерывный процесс как самостоятельной работы, так и проверки полученных знаний.

Представляет интерес методика организации итоговой проверки усвоения материала, стимулирующая повышение объема самостоятельной подготовки. При этом акцент делается не столько на запоминание материала, сколько на понимание, необходимость анализировать ситуацию, принимать оптимальные решения, опираясь на достижения в области строительной индустрии.

## СИСТЕМА ПРИНЯТЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

**1. Авария** – событие, происходящее по техногенным, конструктивным, технологическим, эксплуатационным причинам или в результате природно-климатических воздействий, интенсивность которых не превышала расчетных значений, заключающееся в разрушении здания, его части или элемента и создающее угрозу для жизни и здоровья людей, окружающей среде или производственному процессу.

**2. Обследование** – комплекс работ по определению фактического технического состояния и степени износа здания, его отдельных элементов.

**3. Дефект** – несоответствие сооружения, его части или отдельного элемента требованиям нормативных документов, образовавшееся при их возведении (изготовлении).

**4. Повреждение** – дефект, образовавшийся в результате воздействий (климатических, механических, химических и др.) при хранении, транспортировании, монтаже, нарушении правил технической эксплуатации.

**5. Восстановление** – комплекс мероприятий по устранению дефектов (повреждений) и улучшению характеристик материалов объекта.

**6. Усиление** – комплекс мероприятий по обеспечению требований положений первой и второй группы предельных состояний.

**7. Нарращивание** – увеличение поперечного сечения усиливаемой конструкции путем бетонирования со стороны одной или двух граней при условии обеспечения совместной работы.

**8. Обойма** – увеличение поперечного сечения усиливаемой конструкции путем бетонирования со всех четырех сторон при условии обеспечения совместной работы.

**9. Местная обойма** – увеличение поперечного сечения путем бетонирования со всех четырех сторон на отдельном участке по длине конструкции.

**10. Рубашка** – увеличение поперечного сечения усиливаемой конструкции путем бетонирования со стороны трех граней при условии обеспечения совместной работы.

**11. Распорка** – сжатая арматура в виде прокатного профиля, не имеющая по длине сцепления с бетоном, закрепленная концами на усиливаемой конструкции.

**12. Затяжка** – растянутая арматура, закрепленная концами на усиливаемой конструкции, не имеющая по длине сцепления с бетоном.

**13. Шарнирно-стержневая цепь** – растянутая арматура, не имеющая по длине сцепления с бетоном, закрепленная концами на усиливаемой конструкции, с более чем двумя перегибами по длине.

**14. Шпренгель** – растянутая арматура, не имеющая по длине сцепления с бетоном, закрепленная концами на усиливаемой конструкции, с одним или двумя перегибами, опирающимися на нее по длине конструкции.

**15. Техническое состояние объекта** – комплекс показателей, определяющих как соответствие проектным решениям, так и долговечность объекта в будущем.

Принятые в конспекте лекций условные обозначения и символы соответствуют ИСО 39898. При расчете усиления (бетон, арматура усиления, условия работы и т.д.) конструкций к условным символам и обозначениям добавляется отличительный индекс «ad». Например:

$A_{ad}$  – дополнительная площадь сечения бетона усиления;

$A_{s1,ad}$  – дополнительная площадь сечения растянутой арматуры усиления;

$A_{sw,ad}$  – дополнительная площадь сечения поперечной арматуры усиления;

$E_{c,ad}$  – модуль упругости бетона усиления;

$E_{s,ad}$  – модуль упругости арматуры усиления;



$f_{cd,ad}$  – расчетное сопротивление сжатию бетона усиления для железобетонной конструкции;

$f_{yd,ad}$  – расчетное сопротивление растяжению арматуры усиления;

$\gamma_{c,ad}$  ( $\gamma_{s,ad}$ ) – понижающий коэффициент условий работы дополнительного бетона (арматуры);

$b_{ad}$  – ширина дополнительного сечения бетона наращивания;

$h'_{ad}$ ,  $h_{ad}$  – высота дополнительного сечения наращивания бетона в сжатой и растянутой зонах соответственно;

$\Delta M$  – изгибающий момент от внешних сил, приложенных после усиления;

$A_{red}$  – площадь приведенного сечения усиленного сечения;

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

$W_{red}$  – момент сопротивления приведенного сечения элемента для крайнего растянутого волокна;

$f_{cd,red}$ ,  $f_{ctd,red}$  – приведенное значение расчетного сопротивления бетона осевому сжатию и растяжению соответственно.

Остальные обозначения соответствуют принятым в СНБ 5.03.01-02 [13], СНиП 11-23-81\* [12], ТКП 45-5.03-308-2017[11].

## ТЕМА №1. ВВОДНАЯ ЛЕКЦИЯ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 1.1 Цель и задачи курса.
- 1.2 Литература по курсу.
- 1.3 Причины, вызывающие необходимость восстановления и усиления строительных конструкций – (с.7-10[1]).

### 1.1. Цели и задачи изучаемого курса

**Цель** – подготовить специалиста ориентирующегося в вопросах обеспечения эффективной эксплуатации строительных конструкций наряду с обеспечением эксплуатационной надежности и нормативной долговечности.

**Задача** – дать знания, которые позволяют специалисту оценить техническое состояние объекта на всех стадиях создания (проектирование, строительство) включая эксплуатацию, выполнить весь комплекс строительных работ в процессе реконструкции (восстановление, усиление), грамотно оценив как условия эксплуатации, так и возможности ремонтных составов и методов усиления.

### 1.2. Литература по курсу

#### Основная литература

1. ТКП 45-1.04-305-2016. Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования. – Мн.: Минстройархитектуры, 2017-106с.
2. ТКП 45-1.04-37-2008. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений. Порядок проведения. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009-52с.
3. ТКП 45-1.04-119-2008. Здания и сооружения. Оценка степени физического износа. – М.: Минстройархитектура, 2009-43с.
4. ТКП 45-1.03-314-2018. Возведение строительных конструкций, зданий и сооружений. Основные требования. – Мн.: Минстройархитектуры, 2018-123с.
5. ТКП 45-1.04-206-2010. Ремонт, реконструкция и реставрация жилых и общественных зданий и сооружений. Основные требования по проектированию. – Мн.: Минстройархитектуры, 2011-19с
6. ТКП 45-1.02-104-2008. Проектная документация на ремонт, модернизацию и реконструкцию жилых и общественных зданий и сооружений. Порядок разработки и согласования. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009-16с.
7. ТКП 45-5.04-49-2007. Конструкции стальные. Обследование и диагностика технического состояния. – Мн.: Минстройархитектуры, 2008-125с.
8. ТКП 45-5.05-146-2009. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования. – Мн.: 2009-63с.
9. ТКП 45-1.04-126-2009. Обследование зданий и сооружений. Правила безопасности труда. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009-21с.
10. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. – М.: Минстройархитектуры, 1988-36с.
11. ТКП 45-5.03-308-2017. Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы проектирования. – Мн.: Минстройархитектуры, 2017.-154с.
12. СНиП 11-23-81\*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М.: 1991-96с.
13. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. С изменениями №1,2,3,4,5 – Мн.: Стройтехнорм, 2002-274с.
14. ТКП 45-5.04-274-2012. Стальные конструкции. Примеры расчета. – Мн.: Минстройархитектуры. 2013-147с.
15. ТКП EN 1991-1-3-2009. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки – Мн.: Минстройархитектуры. 2009-20с. (с национальным приложением от 01.07.2015г).

16. ТКП EN 1991-1-4-2009. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009-с. (с национальным приложением от 01.07.2015г).

17. ТКП EN 1992-1-1-2009. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009-191с.

18. СТБ EN 1996-1-1-2009. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1. Общие правила для армированных и неармированных каменных конструкций. – Мн.: Госстандарт, 2009-86с.

19. ТКП EN 1996-2-2009. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 2. Проектные решения, выбор материалов и выполнение каменных конструкций. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009-26с.

20. ТКП EN 1996-3-2009. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 3. Упрощенные методы расчета для неармированных каменных конструкций. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009-30с.

#### *Дополнительная литература*

21. Безов А.И., Сапрыкин В.Ф. Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, - 1995, - 192с.

22. Бондаренко С.В. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий / С.В. Бондаренко, Р.С. Санжаровский. – М.: Стройиздат, 1990-351с.

23. Биоповреждения в строительстве / Ф.М. Иванов и др. – М., 1984. – 320с.

24. Богомолов Б.Д. Химия древесины. / Б.Д. Богомолов. – М., Экология, 1973. – 224с.

25. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2000-176с.

26. Гучкин И.С. Техническая эксплуатация и реконструкция зданий / Учебное пособие: - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009-296с.

27. Гуськов И.М. Эксплуатация деревянных конструкций и методы устранения дефектов: Учебное пособие / И.М. Гуськов. – М.: МИСИ, 1982. – 106с.

28. Житушкин В.Г. Усиление каменных и деревянных конструкций: Учебное пособие / В.Г. Житушкин. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 56с.

29. Калинин А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений / А.А. Калинин. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 160с.

30. Каневская И.Г. Биологическое повреждение строительных материалов. / И.Г. Каневская. – Л., 1984. – 232с.

31. Кондратчик А.А., Кондратчик Н.И. Реконструкция и реставрация зданий и сооружений / раздел – Диагностика технического состояния зданий и сооружений / Конспект лекций для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм обучения. – Брест: Издательство БрГТУ, 2013. – 92с.

32. Кондратчик А.А., Кондратчик Н.И. Реконструкция и реставрация зданий и сооружений / раздел – Реконструкция, реставрация и ремонт зданий и сооружений / конспект лекций для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм обучения. – Брест: Издательство БрГТУ, 2013. – 180с.

33. Лазовский Д.Н. Усиление строительных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений / Д.Н. Лазовский. – Новополоцк: Полоцк. гос. ун-т, 1998. – 245с.

34. Кондратчик А.А. Экспериментально-теоретическая основа расчета конструкций из напрягающего бетона при совместном действии изгибающих моментов, продольных и поперечных сил.-Брест. Изд. БрГТУ,-172с.

35. Леденёв В.И. Предупреждение аварий: Учебное пособие / В.И. Леденёв, В.И. Скрилев. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 240с.

36. Альбом конструктивных решений по сейсмоусилению элементов зданий с несущими стенами из каменной кладки композитными материалами FibaRM на основе углеволокна. - ЗАО «Препрет-СКМ», М.:2012-69с.

37. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП 11-22-81). – М.: Стройиздат, 1989. – 152с.

38. Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84\*. Усиление железобетонных конструкций. – Минск: Минстройархитектуры, 1988 - 189с.

39. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП 11-23-81\*) / Украинский НИИ проектстальконструкция . – М.: Стройиздат, 1989. – 158с.

40. Ребров И.С. Усиление металлических конструкций / И.С. Ребров. – Л.: Стройиздат, 1988. – 288с.

41. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам / ЦНИИ. – М.: Стройиздат, 1989. – 112с.

42. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1984. – 36с.

43. Рекомендации по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. – ООО «Интераква», НИИХСБ. – М.: 2006. – 47с.

44. Рекомендации по усилению и ремонту строительных конструкций инженерных сооружений. – М.: ЦНИИ промышленных зданий, 1995. - 47с.

45. Рекомендации по ремонту и восстановлению железобетонных конструкций полимерными составами / НИЖБ. – М.: Стройиздат, 1986. – 28с.

46. Рекомендации по усилению железобетонных и каменных конструкций / Д.Н. Лазовский и др. – Новополоцк, Полоцк. гос. ун-т, 1993, - 485с.

47. Реконструкции по восстановлению и усилению полносборных зданий полимеррастворами / Тбилисский ЗНИИЭП. – М.: Стройиздат, 1990. – 160с.

48. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1988. – 57с.

49. Р.03.042.07. Рекомендации по оценке надежности железобетонных конструкций, эксплуатируемых и реконструируемых зданий и сооружений. – Мн.: Минстрой архитектура. 2007 – 33с.

50. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1989 – 105с.

51. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИ промышленных зданий – М.: Стройиздат, 1989. – 36с.

52. Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместимости материалов. – М., ЦНИИС, 2005, 115с.

53. Шалимо М.А. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии / М.А. Шалимо. – Минск: Высшая школа; 1986. – 200с.

### **1.3. Причины, вызывающие необходимость восстановления и усиления конструкций**

Даже при активной работе контролирующих служб (госэкспертиза проектной документации, госстройнадзор, технадзор, авторский надзор за процессом создания объекта, работа служб по эксплуатации и т.д.) в мире происходят аварии. На рисунке 1.1 даны основные причины возникновения аварийных ситуаций.

Например:

2004г. Франция, Париж, рухнула крыша терминала аэропорта Шарля де Голля.

2006г. Россия, Москва, рухнула крыша Басманного рынка площадью 2 т.м<sup>2</sup>.

2006г. Польша, Катовице, рухнула крыша выставочного павильона.

2013г. Латвия, Рига, рухнула крыша торгового центра «Maxima».



**Рисунок 1.1 Причины развития аварийных ситуаций**

В Республике Беларусь только в 2013 году по отчётам контролирующих служб было установлено следующее:

- нарушения выявлены на 6455 объектах, в том числе на 74 стройках остановлены работы, на 275 площадках установлено самовольное выполнение СМР;
- при вводе в эксплуатацию 5103 объектов было вынесено 1912 мотивированных отказа;
- привлечено к административной ответственности 3405 физических и юридических лиц, и взыскано 1.88 млрд. рублей штрафа.

Не менее существенной причиной является и нарушение правил эксплуатации объекта. Например – при обследовании Комаровского крытого рынка в г. Минске было установлено наличие дополнительной нагрузки величиной порядка 800т (8000 кН).

При реконструкции объектов изменяются как условия эксплуатации (температура, влажность, агрессивность среды), так и нагрузки (новое оборудование, надстройка и т.д.). Это подтверждает необходимость как постоянного мониторинга технологического состояния конструкций, так и реализации целого комплекса восстановительных работ (см. рис. 1.2)



**Рисунок 1.2 Методы защиты СК от разрушения**

И так, необходимость в усилении (восстановлении) возникает как в процессе реконструкции (перестройки, перепланировки, изменения технологии или профиля эксплуатации здания), так и при устранении дефектов повреждений, возникающих в конструкциях в силу различных факторов.

Конструкции следует усиливать лишь после того, как будут использованы все возможные мероприятия по обеспечению их надежной эксплуатации в новых условиях без усиления.

К этим мероприятиям относятся:

- рациональное распределение технологических нагрузок;
- введение временных разгружающих элементов и устройств при демонтаже и монтаже оборудования;
- ограничение сближения кранов, не нарушающее технологический процесс;
- ограничение по одновременному загрузению временными нагрузками больших площадей перекрытий, снижение уровня вибрации и динамических нагрузок.

В случае если указанные мероприятия не дают необходимого эффекта, становится вопрос о целесообразности усиления. Для решения вопроса об усилении и для проектирования усиления при реконструкции зданий и сооружений необходимы, как правило, следующие материалы.

1. Рабочие чертежи существующих конструкций зданий и сооружений.
2. Данные об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях площадки.
3. Данные о соответствии фактического выполнения конструкций проектным решениям с указанием всех отклонений от проекта в части габаритов конструкций, узлов их сопряжения.
4. Результаты геодезической съемки положения конструкций для определения осадок, относительных смещений, прогибов и кренов существующих конструкций, узлов их сопряжения.
5. Данные о продолжительности и условиях эксплуатации здания.
6. Данные о величинах и режимах технологических нагрузок при эксплуатации.
7. Данные о фактических характеристиках бетона и стали каждого конструктивного элемента, количестве арматуры и её классе, состоянии сварных швов и т.д.
8. Данные об особенностях технологического процесса в реконструируемом сооружении (сухой, мокрый, наличие повышенных температур, характер агрессивных воздействий).
9. Данные об имевших место аварийных состояниях конструкций за весь период до момента проектирования реконструкции.
10. Данные об имевших место аварийных деформациях оснований и причинах их вызвавших (просадка и набухание от замачивания, усадка основания от повышенных температур, циклическое замораживание и оттаивание).
11. Данные об имевших место ранее усилениях конструкций и оснований, в том числе и причинах таких решений.
12. Инженерно-геологические и гидрологические условия на период проведения реконструкции (усиления), в том числе уровень и агрессивность грунтовых вод.
13. Прогноз возможности подтапливания оснований.
14. Данные о новых нагрузках, режимах эксплуатации и ожидаемой агрессивности грунтовых вод.
15. Сведения об основных дефектах конструкций, оказывающих влияние на несущую способность, снижение долговечности и ухудшение эксплуатационных свойств конструкций.

Сведения об основных дефектах конструкций включают: наименование дефектов, места их расположения (для трещин – их направления), основные размеры и другие данные, характеризующие параметры дефекта. Например: трещины, превышающие их допустимые величины по второй группе предельных состояний; превы-

шенные прогибы перемещения; раковины и сколы; отслоение защитного слоя; раздробление бетона в сжатых элементах и сжатых зонах; коррозия арматуры; коррозия бетона; обрывы стержней арматуры; потеря сцепления арматуры с бетоном; дефекты защитных покрытий; отклонения от проекта по габаритам конструкций, опорным узлам, сечения арматуры и прочее.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите причины возникновения аварийных ситуаций из-за ошибок при проектировании.
2. Назовите причины возникновения аварийных ситуаций из-за ошибок при строительстве.
3. Назовите причины возникновения аварийных ситуаций из-за нарушений правил эксплуатации.
4. Какие методы защиты конструкций от разрушения вы знаете?
5. Сформулируйте основные принципы первичной и вторичной защиты строительных конструкций.
6. Существует ли зависимость между агрессивностью среды и стойкостью к разрушению защитных покрытий?
7. Какие виды защитных покрытий вы можете назвать?
8. В каком случае производится восстановление или усиление конструкций?
9. Какие исходные материалы анализируют при принятии решения о восстановлении или усилении строительных конструкций?
10. Как изменится методика организации работ по восстановлению или усилению конструкций объекта входящего в реестр Министерства культуры Республики Беларусь?

## **ТЕМА № 2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **Перечень рассматриваемых вопросов:**

2.1 Необходимость выполнения работ по восстановлению (с. 2040 [4])

2.2 Подготовка поверхности СК к ремонту (с. 48 – 61 [42])

2.3 Выбор ремонтного материала (с. 158 – 166 [53])

### **2.1. Необходимость выполнения работ по восстановлению**

В ряде случаев имеющиеся дефекты и повреждения не влияют на несущую способность конструкции на момент обследования, однако снижают её долговечность, создают трудности нормальной эксплуатации увеличивая затраты на текущие ремонты. К восстановительным отнесём методы т.н. вторичной защиты (нанесение лакокрасочных, оклеечных и облицовочных материалов, мастик, уплотняющих пропиток, биоцидных составов), а так же мероприятия по защите поверхности от разрушения, заделке трещин, раковин.

При восстановлении (ремонте без усиления) подлежат ремонту все сколы, раковины, пустоты, обнажения арматуры, трещины, щебенистость бетона и другие дефекты и повреждения появившиеся при изготовлении и эксплуатации. При обследовании определяются целесообразность ремонта, стабильность несоответствий, условия эксплуатации, вид и совместимость ремонтного материала с материалом конструкции.

Условно несоответствия можно разделить на три группы:

- I группа – повреждения, практически не снижающие прочности и долговечности строительной конструкции (поверхностные раковины, пустоты, сколы бетона, трещины, в том числе усадочные и учтённые расчётом раскрытия не более 0,2 мм, а так же те, которые увеличивают ширину раскрытия не более чем на 0,1 мм при действии временной нагрузки и температуры);

- II группа – повреждения снижающие долговечность строительной конструкции (пустоты, раковины с оголением арматуры, поверхностная и глубокая коррозия бетона, коррозионные трещины, раскрытия более 0,2 мм (более 0,1 мм у ПЖБК), трещины раскрытием более 0,3 мм при действии временной нагрузки);

- III группа – повреждения снижающие несущую способность СК (трещины не предусмотренные расчётом, большие раковины и пустоты в сжатой зоне и т.д.) и требующие усиления конструкции.

Повреждения I группы устраняют в процессе текущего ремонта для улучшения защитных свойств бетона и предотвращения появления новых. Ремонт повреждений II группы повышает долговечность строительной конструкции и определяет требования к ремонтным составам. Повреждения III группы устраняют ремонтом с усилением по индивидуальному проекту.

В качестве примера можно остановиться на железобетонных конструкциях. Согласно действующим в настоящее время принципам проектирования и расчета несущих конструкций по предельным состояниям, при обследовании все обнаруженные дефекты (отклонения от нормативных требований) необходимо разделять на следующие типы:

- дефекты, указывающие на угрозу снижения или необеспечения несущей способности;

- дефекты, недопустимые с позиций пригодности конструкций к нормальной эксплуатации.

Одним из наиболее характерных дефектов бетонных и железобетонных конструкций являются трещины. В зависимости от категории трещиностойкости, связанной с условиями эксплуатации, видом (классом) арматуры, напряженным состоянием сечений (растяжение, сжатие) и продолжительностью раскрытия, предельно допустимая ширина раскрытия трещин в условиях неагрессивной среды колеблется от



0,1 мм до 0,4 мм. Для 1-й категории трещиностойкости образование трещин вообще не допускается. Различают трещины, проявившиеся в железобетонных конструкциях в процессе изготовления, транспортировки и монтажа, трещины от эксплуатационных нагрузок и воздействия окружающей среды.

К трещинам, появившимся в доэксплуатационный период, относятся:

- усадочные трещины, вызванные быстрым высыханием поверхностного слоя бетона и сокращением объема, а также трещины от набухания бетона;
- трещины, вызванные неравномерным охлаждением бетона;
- трещины, вызванные большим гидратационным нагревом при твердении бетона в массивных конструкциях;
- трещины технологического происхождения, возникшие в сборных железобетонных элементах в процессе изготовления (доля в общем количестве дефектов в сборных железобетонных конструкциях достигает 60%);
- трещины в сборных железобетонных элементах силового происхождения, вызванные неправильным складированием, транспортировкой и монтажом, при которых конструкции подвергались силовым воздействиям от собственного веса по схемам, не предусмотренным проектом.

Трещины, появившиеся в эксплуатационный период, можно разделить на следующие виды:

- трещины, возникшие в результате температурных деформаций из-за нарушений требований устройства температурных швов или ошибки расчета статически неопределимой системы на температурные воздействия;
- трещины, вызванные неравномерностью осадок грунтового основания, что может быть связано с нарушением требований устройства осадочных деформационных швов, аварийным замачиванием грунтов, проведением земляных работ в непосредственной близости от фундаментов без выполнения специальных мероприятий;
- трещины, обусловленные силовыми воздействиями, превышающими способность железобетонных элементов воспринимать растягивающие напряжения.

С точки зрения напряженно-деформированного состояния конструкции трещины можно разделить по их значению, т.е. влиянию на несущую способность:

- а) трещины, указывающие на аварийное состояние конструкции;
- б) трещины, увеличивающие водопроницаемость бетона (в резервуарах, трубах, стенах подвала);
- в) трещины, снижающие долговечность конструкции из-за интенсивной коррозии арматуры (бетона);
- г) трещины, не вызывающие опасений в надежности конструкции.

## 2.2. Подготовка поверхности строительной конструкции к ремонту

Независимо от вида дальнейших работ (восстановление или усиление) выполняется подготовка поверхности из бетона с целью как знания состояния основания так и обеспечения совместной работы старого и нового материала. Классификация способов подготовки дана на рисунке 2.1, а примеры реализации в таблице 2.2 и на рисунке 2.2. При этом необходимо учитывать следующие особенности.

1. При воздействии на бетон изменяется прочность на отрыв (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1 – Влияние вида воздействия на бетон, на его прочность на отрыв.

Способ подготовки поверхности	Изменение в %	Способ подготовки поверхности	Изменение в %
1.Отбойный молоток	-30	6.Водоструйный	+10
2.Перфоратор	-25	7.Воздействие паром	0
3.Пескоструйный (дробеструйный)	+30	8.Водо-пескоструйный	+30
4.Термический	-60	9.Термический с пескоструйным	+20
5.Химический	0		

2. Контур ремонтного участка должен быть обрезан по плоскости перпендикулярной бетонной поверхности угловой шлифмашиной.

3. Ремонтируемая поверхность должна иметь шероховатость – глубина выступа или глубина впадины должна быть не более 1/3 размера крупного заполнителя ремонтного материала и не менее 5 мм.

4. Поверхность обеспыливается и увлажняется (в течении 6 часов и не позднее 30 минут до начала ремонта кистью до полного водонасыщения бетона водой).

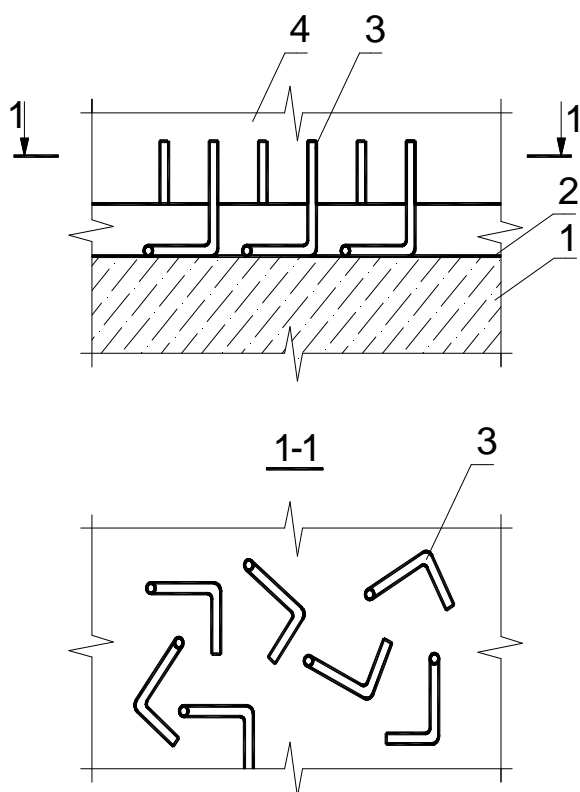
5. Прочность бетона при отрыве должна быть не менее 1.5 МПа, влажность не менее 55%, содержание хлоридов не допускается.

### 2.3 Выбор ремонтного материала

**Материалы для ремонта бетона.** Материалы для ремонта железобетонных конструкций следует классифицировать по химической основе, методу ремонта и способу нанесения.

По химической основе материалы для ремонта делятся на следующие типы:

- минеральные (экономичность, паропроницаемость, термостойкость);
- эпоксидно-цементные (экономичность, паропроницаемость, теплоизоляция);
- эпоксидные (высокая прочность, износостойкость, химстойкость и др.);
- полиметилметаакрилатные (быстротвердеющие, высокая износостойкость, химстойкость, стойкость к УФ).



**Рисунок 2.2 – Способ соединения старого бетона с новым (А.С. 1183645)**

1 - поверхность старого бетона, очищенная от строительного мусора, промытая водой и продутая сжатым воздухом;

2 - маловязкий клей (например, ненаполненный эпоксидный клей), наносимый на очищенную поверхность старого бетона;

3 - слой фибры  $\perp$ -образной формы (две ветви фибры лежат в одной плоскости, третья - в перпендикулярной), укладываемый в слой клея;

4 - бетонная смесь нового бетона (наращивания, рубашки, обоймы);

Таблица 2.2 – Состав от смывок старых лакокрасочных покрытий

Марка состава	Компонент		Назначение-удаление материалов
	Наименование	Содержание, % по массе	
С Д (СП) (ТУ 6-10-1088-76-СД)	диоксолан - 1,3	50	масляные, фенольно-масляные, виниловые
	бензол	30	
	спирт этиловый	10	
	ацетон	10	
АФТ-1 (ТУ 6-10-1202-78)	диоксолан -1,3	47,5	масляные, фенольно-масляные, виниловые, поливинилбутирольные
	толуол	28	
	ацетон	19	
	коллоксин	5	
СП-6 (ТУ 6-10-641-79)	парафин	0,5	масляные, алкидные, винилхлоридные, полиакрилатные, меламиноформальдегидные, эпоксидные
	метиленхлорид	70,56	
	смола ПСХ-С	11,24	
	диоксолан - 1,3	9,21	
	ксилол	5,62	
	уксусная кислота	2,52	
	парафин	1,12	

По методу ремонта материалы классифицируют для:

- ремонта и репрофилирования конструкций;
- склеивания и заполнения трещин инъектированием;
- подливки и анкеровки;
- внешнего армирования и усиления конструкций.

По способу нанесения материалы делятся на:

- тиксотропного типа (для вертикальных поверхностей);
- наливного типа (для горизонтальных поверхностей);
- инъекционного типа (для закачивания в трещины);
- приклеиваемого (для усиления конструкций).

**Материалы для защиты бетона.** По химической основе материалы для защиты делятся на следующие типы:

- минеральные (экономичность, паропроницаемость, термостойкость, износостойкость);
- силан-силансановые (экономичность, паропроницаемость);
- эпоксидноцементные (экономичность, паропроницаемость, влагоизоляция);
- эпоксидные (высокая прочность, износостойкость, химстойкость);
- акриловые (экономичность, паропроницаемость, стойкость к УФ);
- полиуретановые (химическая стойкость, способность перекрывать трещины, устойчивость к УФ-лучам);
- полимочевинные (высокая износостойкость, химическая стойкость, способность перекрывать трещины, нанесение при отриц. температурах термостойкие).

По назначению защитные материалы классифицируют:

- пропитки(упрочняющие, гидрофобизирующие);
- ингибиторы коррозии;
- очистители поверхности;
- защитные покрытия;
- гидроизоляционно-выравнивающие покрытия;
- паропроницаемые защитные покрытия;
- химически стойкие защитные покрытия;
- износостойкие защитные покрытия.

Выбор ремонтного материала базируется как на учете основных требований (степень ответственности строительных конструкций, глубина и вид разрушения, условия эксплуатации, положение и доступность ремонтируемой поверхности, эстетические требования, объем работ), так и дополнительных (косметический, текущий или капитальный ремонт с усилением).

Особо контролируются следующие характеристики:

- совместимость – соотношение между физическими, химическими и электрохимическими характеристиками и размерами составляющих ремонтной и существующих систем;

- величина усадки (предпочтение материалам с более низкими показателями), коэффициент температурного расширения (введение в раствор полимеров увеличивает показатель в 1,5 – 5 раз), модуль упругости, ползучесть, проницаемость, прочность на сжатие и растяжение, величина сцепления;

- условия применения (метод нанесения, удобоукладываемость, способ приготовления, условия использования);

- толщина ремонтного слоя (до 100мм используют бетоны из сухих специальных смесей; более 100 мм – специальные бетоны с добавлением щебня (до 40 % по массе) или бетоны со смешиванием инертных со специальным цементом).

Ремонтируемые трещины в конструкции делят на активные и неактивные. Активные трещины могут изменять раскрытие под действием нагрузки и температуры. Как правило, активные трещины при усилении конструкций переводят в неактивные. Возможен ремонт активных трещин (если не требуется усиление) – наполнение их мастикой не подверженной разрыву при изменении раскрытия. Неактивные трещины инъецируют составом склеивающимся с бетоном берегов трещины, но не способным предотвратить раскрытие трещины при изменении нагрузки.

Могут быть использованы сухие бетонные смеси, тяжелый бетон (раствор) на основе обычного или напрягающего цемента, тиксотропные составы (для работ на потолочных поверхностях), фибробетоны, жесткие полимерцементные составы, составы на основе синтетических смол (эпоксидных, перхлорвиниловых), пластичные составы на основе синтетических каучуков, модифицированных эпоксидных смол.

В ремонтные смеси рекомендуется добавлять (брать за основу):

- полимерные щелочестойкие волокна(фибра);
- расширяющие добавки по ТУ 5725-023-0024-95332-94;
- акрилполимер(АКРИЛ-60, АКРИЛ-100);
- полиакриловую дисперсию Р –III (СЕМПИ);
- сухие смеси ЭМАКО (наливной и тиксотропный тип);
- СТРУКТУЛИТ – на базе акрилполимера (АКРИЛ-60);
- модифицированный полимерный состав (ТЕЙПКРИТ);
- ремонтные композиции ИМИД;

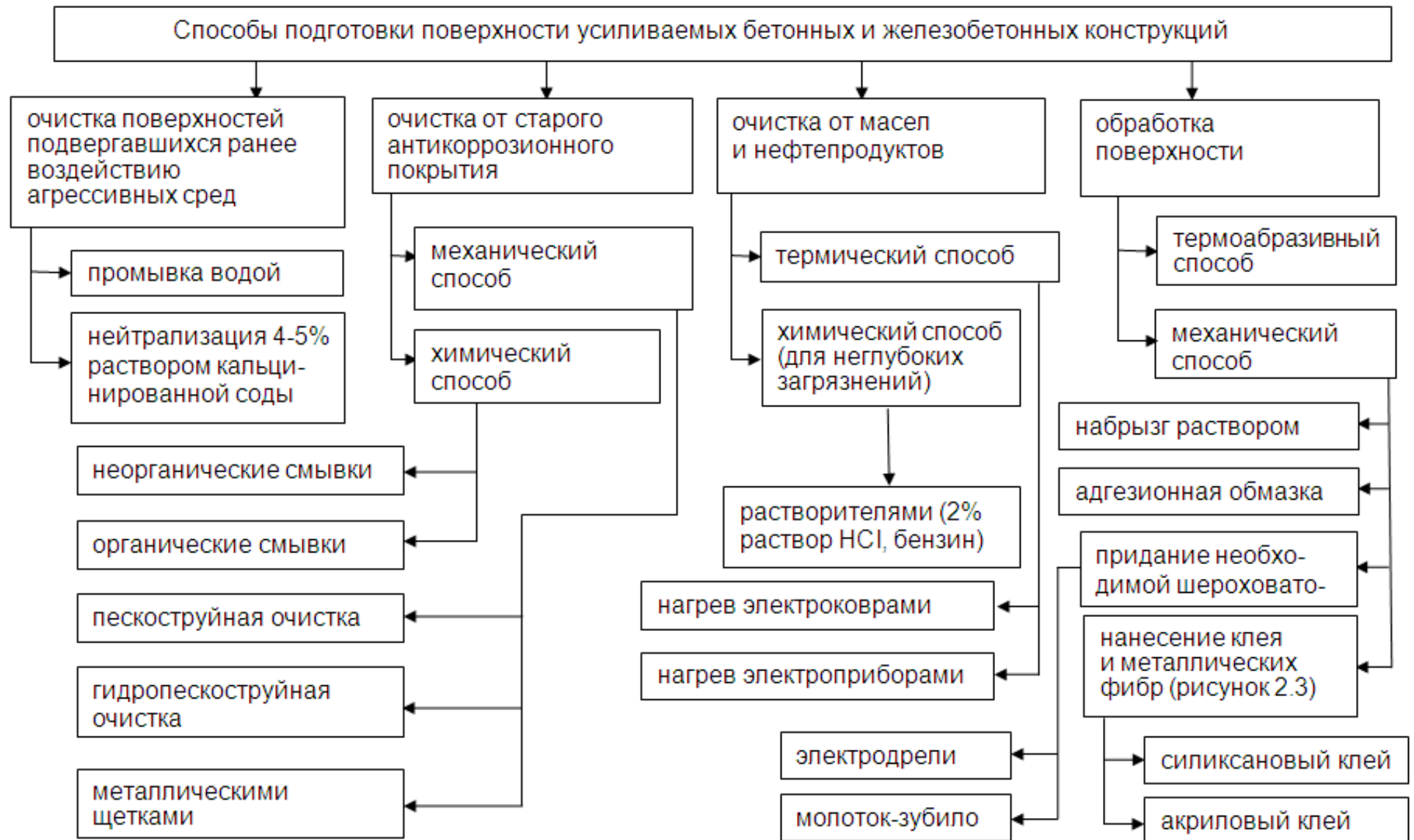
Характеристика ряда материалов и их назначение даны в таблице 2.3, а на рисунках 2.3...2.8-примеры выполнения работы.

Таблица 2.3 – Характеристика ремонтных составов.

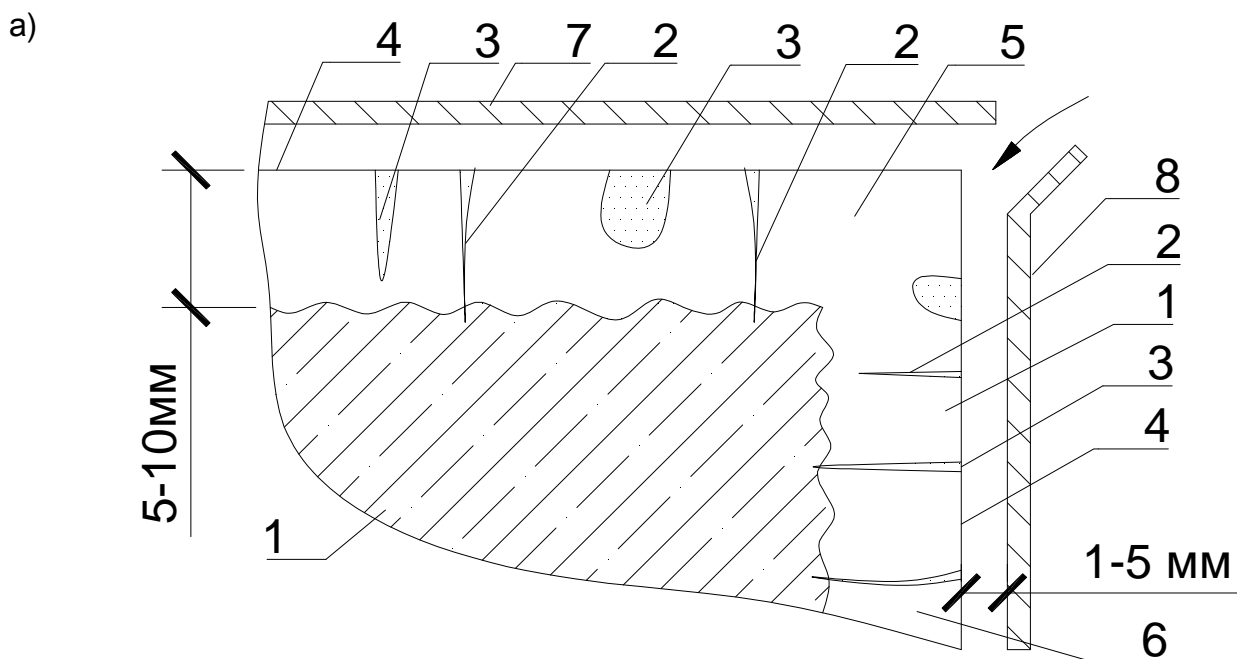
Назначение и область применения	Наименование материала и характеристика (состав)
1	2
Ремонт сколов, выбоин (раствор), трещин с $W_k \leq 2$ мм (тесто), трещин с $W_k \leq 1$ мм и мелких раковин, эстетика (краска) СК при RH $\leq 60\%$	ПВАД(ПВАЭ) – полимерцементный состав

Продолжение таблицы 2.3

1	2
Ремонт поврежденных, защитного слоя, износостойкого слоя, обработка рабочих швов	АКРИЛ -100 – акрилполимер: ПЦ500-ДО-100ч, полимер $\rho=1.046\text{т/м}^3$ -35ч, вода – 24ч, сухой песок с $M_k=1.2-28 – 150\dots 450\text{ч}$
Ремонт защитного слоя до 20мм, модификация цементного камня	Р-III (СЕМПИ) – полимеракриловая дисперсия: ПЦ 500 ДО – 28л, полимер – 10л, вода – 6,5л, песок – 50кг
Ремонт ПЖБК(ЭМАКО S 88 С), поверхности при толщине слоя 10мм (ЭМАКО S 90), 20... 60мм (ЭМАКО SFR)	ЭМАКО – сухая бетонная смесь наливного и тиксотропного типа без фибры и с фиброй
Для ремонта ЖБК и толщине слоя более 100мм, безусадочный и быстротвердеющий цемент	МАКЛОУ – пластифицированный расширяющийся портландцемент: Ц – 408 кг, песок – 897кг, вода – 175л, щебень фракции 5... 20 – 897 кг.
Ремонт сколов, поверхностных пор, трещин при толщине слоя 2... 15мм	АЛИТ СДР-У – смесь тиксотропного свойства, воздухопроницаемая с крупностью заполнителя 0,63мм по ТУ 5745 – 003 – 54336082-02
Для ремонта поверхности с приданием свойств защиты	АЛИТ СОМП – 1б(биоцидная) и АЛИТ СОМП – 1м (ингибирующая сухая смесь)
Для инъекций и герметизации трещин	Эпоксидная смола ЭД-20 – 100мас.ч., лапроксид 603 – 50, 100мас.ч., ПЭПА – 19-26 мас.ч.
Для прочностной заделки трещин	Эпоксидная смола ЭД-20 – 100мас.ч., дибутилфтолат – 20 мас.ч., отвердитель (полиэтиленпропилен) – 15 мас.ч.
Ремонт активных трещин инъекцированием и герметизацией	ЭЛД 552 для увлажненных трещин, ЭЛД 283 для глубоких, увлажненных трещин с $W_k \leq 0.35\text{мм}$
Для повышения прочности, водонепроцаемости, морозстойкости (глубина пропитки до 15мм)	СИЛОР кальматирующая смесь (в чистом виде или в растворе) – мономер из класса изоцианатакрилатов
Для защиты поверхности строительной конструкции в не агрессивной среде	Полимерцементная краска: цемент; вода, поливинилацетатная эмульсия (с 50-ти %-ым содержанием воды) ПВАЭ – 0.3...0.4 ч.по объему, латекс СКС – 65 ГП – 0.25...0.4 ч.по объему
Для защиты поверхности с трещинами строительной конструкции в агрессивной среде	МАСТЕРИЛ – 540 – 2х-компонентный эластичный (относ. удлинение до 60 %), водонепроницаемый состав плёночного типа



**Рисунок 2.1 – Классификация способов подготовки поверхности бетона к ремонту**

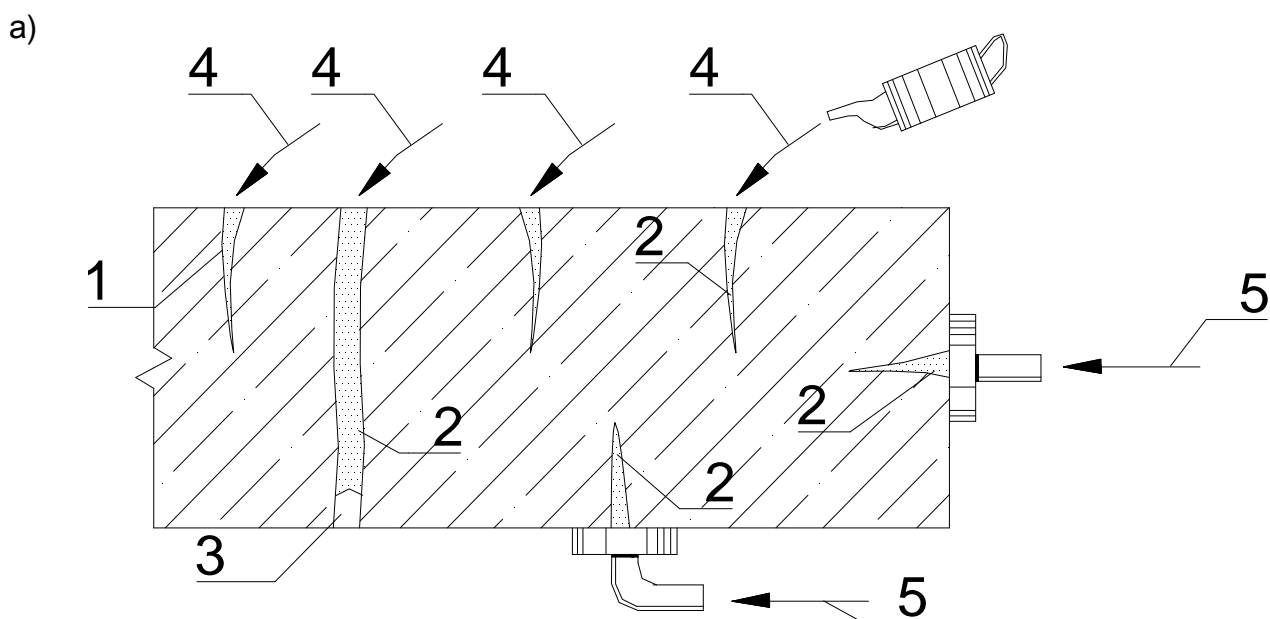


- 1 - восстанавливаемая бетонная или железобетонная конструкция;  
 2 - трещины с шириной раскрытия более 0,5 мм, заполняемые при пропитке;  
 3 - трещины, раковины, выбоины шириной более 0,5 мм, заделываемые цементно-песчаным раствором класса С12/15 до пропитки;  
 4 - поверхность бетона, подготовленная к пропитке (очистка от пыли, лакокрасочных покрытий и от других загрязнений, сушка на глубину 5 - 15 мм);  
 5 - пропитка горизонтальных поверхностей пропиточными составами (см. табл. 2.4), наносимыми в 1-2 слоя поливом и последующим разравниванием кистями и укрытием полиэтиленовой пленкой;  
 6 - пропитка вертикальных поверхностей пропиточными составами (см. табл. 2.4), заливаемыми в зазор между конструкцией и специальным коробом из кровельного железа (8);  
 7 - полиэтиленовая пленка, снимаемая после полимеризации пропиточного состава;

б) Таблица 2.4 Пропиточные составы для усиления слабого бетона и повышения его непроницаемости

Наименование компонентов	Содержание компонентов (в мас. ч) составов				
	№1	№2	№3	№4	№5
1. Метилметакрилат	100	100	100	100	100
2. Жидкий каучук Н-18-1А	-	-	2-5	15-25	20
3. Полиэфир ТГМ-3	-	30	-	-	10
4. Парафин	0,5	-	0,5	-	-
5. Перекись бензола	-	-	5-7	-	-
6. Диметиланилин	-	-	2-3	-	-
7. 4ХЗ-57	0,5-1,5	0,5-1,0	-	-	-
8. Полиэтиленполиамин	-	-	-	7	5-6
9. Наполнитель	5-10	-	5-10	-	-

а) простой формы; б) полимерные составы  
**Рисунок 2.3. Пропитка поверхности**



- 1 - восстанавливаемая бетонная или железобетонная конструкция;  
 2 - трещины, очищенные от воды, пыли, грязи и др. металлическими щетками, скребками, пескоструйными аппаратами, продутые сжатым воздухом и высушенные;  
 3 - шпатлевка нижней части сквозной трещины;  
 4 - трещины, заполняемые самотеком из емкости типа масленки: состав 1 при ширине раскрытия трещин 0,1-0,5 мм; составы 2, 3 - при ширине раскрытия трещин 0,3-1,0 мм;  
 5 - трещины, заполняемые под давлением с помощью инъекторов (трещины между инъекторами герметизируют): составы 2, 3 - при ширине раскрытия трещин 0,3-1,0 мм; составы 4, 5, 6 - при ширине раскрытия трещин 0,2-1,5 мм.

б) Таблица 2.5 Составы для заделки трещин

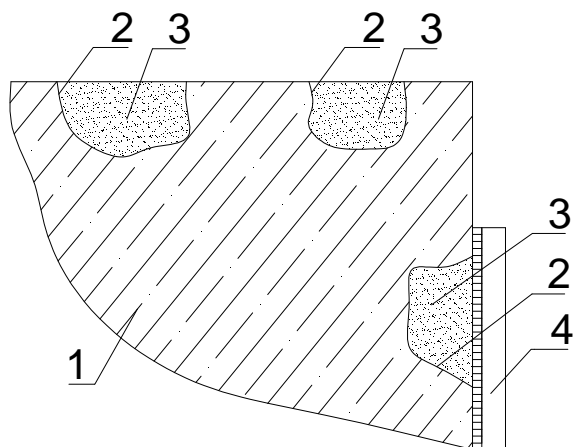
Компоненты составов	Содержание компонентов (в мас. ч) составов					
	1	2	3	4	5	6
Метилметакрилат	100	100	100	-	-	-
Жидкий каучук СКН	-	30-40	30	-	-	30-40
Полиэфир ТМГ-3	-	-	20	-	-	-
Полистирол	5-7	-	-	-	-	-
Парафин	0,5	0,5	0,5	-	-	-
Эпоксидная смола ЭД-16, ЭД-20	-	-	-	100	100	100
Алифатический олигомер ДЭГ-1	-	-	-	20	10	-
Триэтаноламин	-	-	-	0,5-1,0	-	-
Перекись бензоила	7-9	-	-	-	-	-
Диметиланилан	2-3	-	-	-	-	-
Гипериз	-	6-7	5-6	-	-	-
Полиэтиленполиамин	-	6-7	5-6	-	8-10	8-10
Тонкомолотый наполнитель	-	-	-	-	10-100	10-100
Ацетон	-	-	-	10-30	10-30	10-30

а) заделка трещин; б) составы для заделки трещин

**Рисунок 2.4 Ремонт трещин**



а)



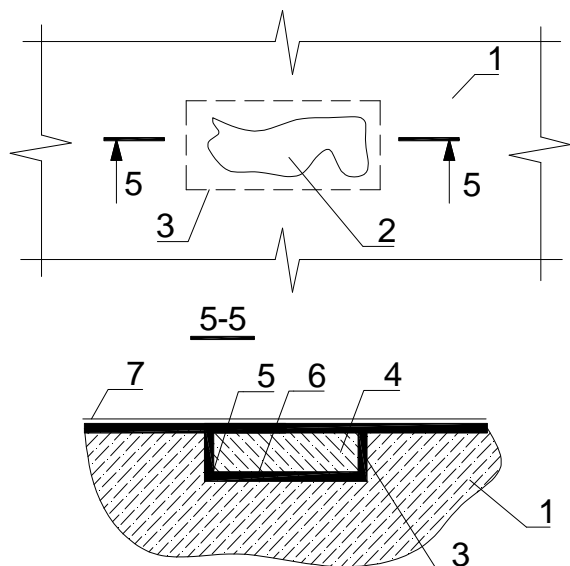
- 1 - восстанавливаемая бетонная или железобетонная конструкция;  
 2 - поверхности объемных дефектов (околы, раковины, выбоины и др.), очищенные от рыхлого бетона, пыли, грязи, масел и др. загрязнений металлическими щетками, пескоструйными аппаратами, обдутье горячим воздухом и высушенные; перед нанесением полимерраствора поверхность дефектов грунтуют составом 6 (табл. 2.6);  
 3 - полимеррастворы (см. табл. 2.6), наносимые с помощью шпателя и уплотняемые штыкованием;  
 4 - прижимная опалубка, покрытая с внутренней стороны полиэтиленовой пленкой (устанавливают после нанесения состава и снимают после его отверждения)

б) Таблица 2.6 Составы для ремонта

Компоненты составов	Содержание компонентов (в мас. ч) составов					
	1	2	3	4	5	6
Метилметакрилат	100	100	100	-	-	-
Жидкий каучук СКН	40-50	40-50	-	20-40	-	-
Полистирол	-	-	5-7	-	-	-
Парафин	0,5	0,5	0,5	-	-	-
Эпоксидная смола ЭД-16, ЭД-20	-	-	-	100	-	100
Перекись бензоила	-	-	6-8	-	-	-
Диметиланилан	-	-	2-3	-	-	-
Гипериз	6-7	6-7	-	-	-	-
Полиэтиленполиамин	6-7	6-7	-	8-10	-	8-10
Кварцевый строительный песок	100-300	-	100-300	50-150	-	-
Тонкомолотый наполнитель	50-100	100-300	100-300	50-100	200-500	-
Ацетон, толуол	-	-	-	10-30	-	50-150
Дибутилфталат СПРУТ-5М	-	-	-	-	100	-
Перекись митилэтиленкетона	-	-	-	-	3-5	-
Нафтенат кобальта	-	-	-	-	3-8	-

а) заделка; б) составы для ремонта

**Рисунок 2.5 Ремонт объемных дефектов:**



- а) 1 - восстанавливаемая панель;  
 2 - глубокая раковина на поверхности панели;  
 3 - устройство углубления простой геометрической формы на месте раковины;  
 4 - пробка, изготовленная из того же бетона, что и панель, или вырезанная из старой панели;  
 5 - поверхность углубления, очищенная, обдута воздухом и смоченная;  
 6 - раствор (см. табл. 2.7), наносимый на поверхность углубления и пробки;  
 7 - новое отделочное покрытие.

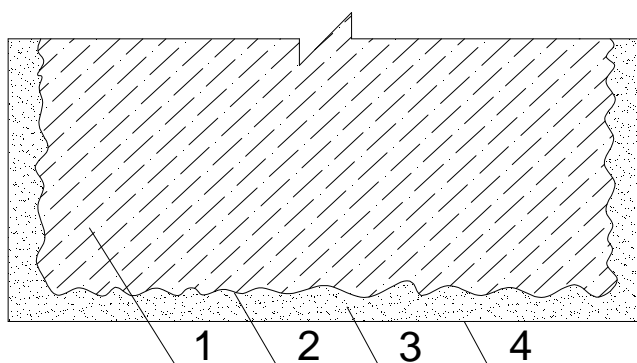
б) Таблица 2.7 Составы для заделки видимых трещин и раковин глубиной до 40 мм в поверхностном слое панелей

Наименование	Состав (по массе)
цементно-перхлорвиниловая (ЦПХВ) шпатлевка	1 : 0,8 : 0,3 (цемент : ПВХ-краска : мел)
поризованные цементно-известковые растворы	от 1 : 0,2 : 4 до 1 : 0,2 : 6 (цемент : известь : песок)

а) заделка; б) составы

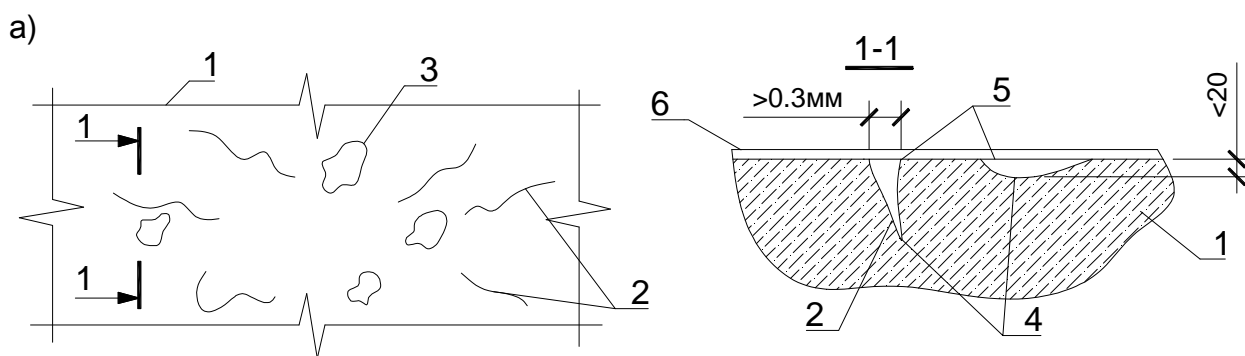
**Рисунок 2.6 Заделка глубоких раковин пробками:**

а)



- 1 - бетонная или железобетонная конструкция;  
 2 - дефекты поверхности (гравелистость, незначительные неровности);  
 3 - поверхность бетона, очищенная металлическими щетками и промытая водой (для улучшения сцепления может быть нанесена адгезионная обмазка из силикоанового или акрилового клея);  
 4 - штукатурка из цементно-песчаного раствора состава 1:2 по объему на портландцемент марки 400-500.

**Рисунок 2.7 Устранение гравелистой поверхности**



- 1 - восстанавливаемая панель;  
 2 - трещины в поверхностном слое;  
 3 - мелкие раковины глубиной до 15-20мм без обновления арматуры;  
 4 - очистка поверхности, продувка воздухом, смачивание водой;  
 5 - шпатлевка раствором;  
 6 - новое отделочное покрытие.

б) Таблица 2.8 Материалы для ремонта

Вид ремонта	Количество дефектов на 1 м	
	Трещин с $W_k < 0,3$ мм	Раковин
1. частичная шпатлевка без расшивки трещин	до 10 м.п./м <sup>2</sup>	≤2
2. сплошная шпатлевка без расшивки трещин	более 10 м.п./м <sup>2</sup>	>2
3. расшивка и шпатлевка трещин, раковин, отслоений	$W_k > 0,3$ мм до 10 м.п./м <sup>2</sup>	h=15..20
4. расшивка и шпатлевка трещин, раковин, отслоений со шпатлевкой поверхности	$W_k > 0,3$ мм до 10 м.п./м <sup>2</sup>	h≤30

Составы шпатлевки (раствора) для заделки видимых трещин, раковин глубиной до 40 мм в поверхностном слое панелей:  
 - цементно-перхлорвиниловая шпатлевка: 1 : 0,8 : 0,3 (цемент, ПВХ-краска, мел);  
 - поризованная цементно-известковая растворы: 1 : 0,2 : 0,4 (цемент, известь, песок).

а) решение; б) материалы для ремонта

**Рисунок 2.8 Расшивка и шпатлевка трещин, раковин и отслоений в стеновых панелях КЖД**

**Ремонт и защита арматуры.** При наличии на поверхности арматуры продуктов коррозии производится ее защита. Очистка поверхности арматуры производится вручную металлической щеткой (при малом объеме) или механизированным способом (пескоструйная обработка и т.д.). Вокруг стержня удаляется поврежденный бетон. Величина зазора зависит от крупности заполнителя в ремонтном материале - не менее 10 мм при крупности заполнителя до 5 мм и не менее 20 мм при крупности заполнителя более 5 мм. При удалении бетона не допускается механическое воздействие на арматуру для сохранения ее сцепления с бетоном. В зависимости от принятого вида ремонтного материала нормируется степень чистоты поверхности металла (см. табл. 2.9).

Таблица 2.9 Требования к степени очистки поверхности металла до ремонта импортными материалами по европейским НТД.

Степень чистоты	Техническая характеристика
<b>Струйно-образивная очистка</b>	
Sa1	Удалена только не связанная с поверхностью окалина, ржавчина и поверхностные слои
Sa2	Удалена почти совсем окалина, ржавчина
Sa2.1/2	Удалена окалина, ржавчина, краска. Допускаются остатки, видимые как "затенения"
Sa3	Осмотр без увеличения - нет окислы, ржавчины
<b>Очистка ручная или механизированная</b>	
St2	Поверхность имеет легкий металлический блеск
<b>Огневая очистка</b>	
F1	Остатки разного цвета видны как "затенения"
<b>Травление</b>	
Be	Полностью удалены окалина и ржавчина
<p>1. Степень чистоты поверхности определена видом ремонтного материала. Например - для защиты арматуры антикоррозийным составом "МАСТЕРСИЛ - 300" степень чистоты Sa2.1/2.</p> <p>2. Согласно ТКП 45-5.09-33-2006 степень очистки металлической поверхности непосредственно перед нанесением ремонтного состава должна быть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- первая - при 6-ти кратном увеличении - окислы и ржавчины нет;</li> <li>- вторая - визуально - окислы и ржавчины нет;</li> <li>- третья - визуально - не более чем на 5% поверхности видны пятна окислы или ржавчины;</li> <li>- четвертая - визуально - тоже не более чем на 20% поверхности.</li> </ul>	

Для ряда ремонтных материалов достаточно очистки поверхности арматуры (например МАСТЕСИЛ-300), а для других нет (например "Пилимикс"). Поверхность арматуры покрывают одним из составов:

- преобразователь ржавчины ТУ РБ 07615101.030 - 96 или другой марки;
- состав для очистки и защиты металла от ржавчины "ЗиМ" ТУРБ

Затем на поверхность арматуры наносят 2 слоя полимер- минеральной грунтовки - праймер, а после основной ремонтный состав восстанавливая защитный слой бетона.

При использовании смеси МАСТЕРСИЛ 300 - наносят 2 слоя толщиной около 2 мм, а затем восстанавливают защитный слой бетона материалами "ЭМАКО". Учитывая стоимость импортных материалов, могут быть использованы более дешевые составы (антикоррозионные обмазки), прошедшие проверку временем на территории РБ (состав дан в частях по массе):

- цементно-битумная - битум БН90310 - 1 ч, толуол - 1 ч, цемент - 6 ч;
- цементно-казеиновая - цемент - 100 ч, казеин - 5 ч, нитрат натрия - 10 ч, вода - 40 ч;
- цементно-полистирольная - цемент 14 ч, молотый песок - 2 ч, полистирольный 30% клей - 10 ч.

Следующий этап - восстановление защитного слоя бетона ремонтным материалом.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. В каком случае выполняют работы по восстановлению железобетонных конструкций, а в каком - по усилению?
2. Какие способы подготовки поверхности бетона для восстановления вы знаете?
3. Изложите требования, которые должны быть выполнены при подготовке поверхности бетона к ремонту.
4. Как подготавливается к ремонту поверхность арматуры?
5. Обоснуйте методику выбора ремонтного материала.
6. Чем отличается ремонт "активных" и не "активных" трещин?
7. Перечислите достоинства и недостатки полимер-цементных ремонтных составов.
8. Определите область применения составов на основе эпоксидных смол.
9. Определите особенности организации работ по восстановлению стеновых панелей.
10. Требуется ли соблюдать температурно-влажностный режим при проведении ремонтных работ?

## ТЕМА №3. УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 3.1 Выбор метода усиления (с. 23-28 [50], с. 71-75 [50])
- 3.2 Классификация методов усиления (с. 15-28 [33])
- 3.3 Техника безопасности при выполнении работ (с. 2-15 [9])
- 3.4 Эксплуатация усиленных конструкций (с. 12-26 [4])

### 3.1 Выбор метода усиления

Конструкции, не удовлетворяющие по результатам проверочных расчетов требованиям норм (в ряде случаев и по визуальным признакам) подлежат усилению при экономическом обосновании целесообразности его выполнения (см. табл. 3.1). В обосновании рассматривают следующие вопросы:

- обеспечение надежности строительных конструкций в связи с процессами старения конструктивных материалов, а также развития дефектов бетона и арматуры, что позволит обеспечить дальнейшую безопасную эксплуатацию объекта;
- исправление ошибок проектирования и строительства;
- учет влияния различных агрессивных сред, что не было предусмотрено на стадии проектирования;
- повышение несущей способности элементов в связи с изменением норм проектирования, или изменения изначального функционального назначения сооружений. Типичным примером могут являться мосты, построенные в 60-х и 70-х годах прошлого столетия, запроектированные на значительно более низкие нагрузки;
- увеличение долговечности сооружений;
- стойкость к сверхнормативным нагрузкам, например, при установке тяжелого оборудования или дополнительных машин в промышленных зданиях;
- преодоление последствий пожаров, землетрясений, аварий и др.

Решение этих задач связано с выбором метода усиления, на который оказывает влияние целый ряд факторов, а именно:

- вид усиления – временное, аварийное, постоянное или перспективное;
- продолжительность реализации, необходимость остановки технологического процесса, использование специального грузоподъемного оборудования;
- сложность конструктивного решения, трудоемкость реализации, стоимость;
- необходимость привлечения сторонних организаций для выполнения работ;
- условия эксплуатации усиленных конструкций, их прогнозируемый ресурс долговечности.

### 3.2 Классификация методов усиления

К настоящему времени в отечественной и зарубежной практике накоплено *множество* различных способов и конструктивных приемов усиления, выбор которых обуславливается рядом конкретных условий. Обычно выделяют три наиболее важных фактора, влияющих на выбор проекта реконструкции:

- минимальные сроки производства работ по усилению и, соответственно, минимальные сроки остановки действующего производства;
- минимум трудозатрат при изготовлении и монтаже усиливающих элементов;
- надежность и долговечность усиленной конструкции.

Можно выделить два основных направления при производстве усиления конструкций: без разгрузки и с разгрузкой усиливаемой конструкции. В свою очередь, первое направление можно подразделить на два метода усиления: с изменением расчетной схемы и напряженного состояния конструкции и без изменения расчетной схемы и напряженного состояния конструкции.

Таблица 3.1 – Определение предаварийного состояния по внешним признакам

Признаки	Краткая характеристика
Состояние сечения или СК	1.1 Изгибаемые элементы: прогиб более 1/50 пролета, раскрытие трещин более 0,5 мм в растянутой зоне; 1.2 Сжатые элементы: раскрытие трещин более 0,5 мм, признаки разрушения сжатого бетона; 1.3 Деформации закладных (соединительных) деталей с разрушением стыка; 1.4 Площадь опирания не соответствует требованиям НТД; 1.5 Нормальные трещины с разветвлением в вершине в пролете.
Состояние бетона	2.1 Снижение прочности бетона сжатой зоны $\geq 40\%$ ; 2.2 Пропитка нефтепродуктами бетона в зоне анкеровки рабочей арматуры; 2.3 Отслоение защитного слоя бетона (или продольные трещины вдоль арматуры) в зоне анкеровки из-за коррозии арматуры; 2.4 Наклонные трещины в зоне среза, пересекающие сжатую и растянутую зоны.
Состояние арматуры	3.1 Разрыв отдельных стержней продольной или поперечной арматуры; 3.2 Разрушение поперечного сечения арматуры коррозией на 50 % и более; 3.3 Потеря устойчивости (выпучивание) сжатой арматуры.
Как правило, указанные признаки на объекте группируются, дополняя друг друга.	

При производстве работ по усилению с разгрузкой конструкции условно выделяют:

а) способы усиления при полном разгрузке с последующим исключением конструкции из работы и ее заменой на новую (этот способ реконструкции скорее следует считать возведением нового строительного объекта либо его конструктивно независимого элемента);

б) способы усиления при частичном разгрузке конструкции либо ее элемента.

Чтобы дать представление о многообразии различных способов и конструктивных приемов усиления, следует перечислить наиболее часто встречающиеся из них, условно разделив их на три группы.

Группа 1 — усиление без разгрузки конструкции с изменением расчетной схемы и напряженного состояния:

– усиление предварительно напряженными распорками, стойками, затяжками, обоймами;

– установка шарнирно-стержневых цепей, дополнительных жестких или упругих опор;

– установка предварительно напряженных хомутов;

– дополнительная горизонтальная или шпренгельная предварительно напряженная арматура (затяжка).

Группа 2 — усиление без разгрузки конструкции и без изменения расчетной схемы и напряженного состояния:

– железобетонная рубашка, обойма, одно- и двухстороннее наращивание;

– торкретирование и набетонка (как правило, с добавлением арматуры);

– местное усиление накладными хомутами, дополнительной поперечной арматурой и пр.;

– усиление с использованием усиливающих элементов, присоединяемых к основной конструкции на клею либо с помощью болтовых соединений.

Группа 3 — усиление с частичным разгрузением конструкции:

- устройство дополнительных металлических и железобетонных балок;
- установка предварительно напряженных разгружающих ферм и кронштейнов;
- установка разгружающих систем из металлических и железобетонных конструкций и др.

На рисунке 3.1 приведена общая классификация методов усиления железобетонных конструкций.

### 3.3 Техника безопасности при выполнении работ

Независимо от материала и вида конструкций, метода усиления и условий производства работ следует обеспечить безопасность людей и сохранность объекта. Ответственность за безопасное ведение работ несет руководитель работ, а в условиях действующего предприятия и его руководитель.

Перед началом работ на территории действующего предприятия составляется наряд-допуск и подписывается ответственным исполнителем и уполномоченным представителем предприятия.

Все работы в условиях действующего предприятия ведутся с учетом требований по ТБ производства:

- участок, где ведутся работы, ограждается;
- работы в закрытых помещениях проводятся с применением принудительной вентиляции, а содержание в воздухе на рабочем месте вредных примесей не должно превышать допустимых ПДК (например: 0,5 % двуокиси углерода и 0,5 мг/м<sup>3</sup> формальдегида);
- работы ведутся только с лесов или подмостей. Устраивать подмости на случайных опорах запрещается;
- все приборы (д.б. поверены) и оборудование должны находиться в исправном состоянии, а при необходимости, и заземлены;
- на территории действующего предприятия и в помещениях относящимся к повышено опасным следует использовать электроинструмент с питанием от сети с напряжением не выше 42 В, а в остальных случаях с напряжением 127/220 В и с обязательным использованием индивидуальных средств защиты;
- к работе допускаются лица прошедшие инструктаж и знакомые (имеющие допуск к работе) с приборами, механизмами и порядком ведения работ;
- работники должны иметь индивидуальные средства защиты, например: щитки электросварщика (защита глаз от электрической дуги), наушники-глушители (защита органов слуха от шума), марлевые респираторы (защита от паров), респираторы: РП-16 (от известковой и асбестовой пыли), РПР-1 или РПБ-5 (от нетоксичной пыли), У-2к (от пыли: минеральной – цементной, стекольной, известковой; металлической – железной, стальной, чугунной; растительной – древесной, каменной), фильтрующего действия ЩБ-1 или «Лепесток» (от аэрозолей, от силикатной, цементной, каменной, металлической пыли);
- все работы выполняются по утвержденной в установленном порядке документации (РЧ, ПОС, ППР);
- проведение работ, связанных с динамическим воздействием на конструкцию, временным уменьшением их поперечного сечения, выполнением сварочных работ, ведущих к нагреву арматуры усиливаемой конструкции запрещается без ее временного раскрепления или разгрузки;
- загрузка усиленной конструкции производится после завершения работ и достижения бетоном усиления прочности не ниже проектной, если в ППР отсутствуют дополнительные указания.



**Рисунок 3.1 Классификация способов усиления железобетонных конструкций**



### 3.4 Эксплуатация усиленных конструкций

Эксплуатация усиленных конструкций осуществляется как в виде периодических осмотров, так и в восстановлении требуемых параметров (уровень напряжений, величина деформаций и т.д.) ряда усилений. Периодичность осмотров зависит от вида материала конструкций (железобетон, металл, камень, древесина) и агрессивности среды эксплуатации и осуществляется, как правило, в 2 раза чаще, чем обычных конструкций.

Общая структура построения методики контроля за техническим состоянием конструкций при эксплуатации содержит выполнение следующих видов осмотров:

– общие, т.н. сезонные (весенне-летние, осенне-зимние) – для подготовки к сезону и устранения повреждений;

– плановые, согласно графика работы службы эксплуатации с учетом условий эксплуатации (агрессивности среды). Например, в условиях газовой среды: 1 раз в год (слабоагрессивная), 2 раза в год (среднеагрессивная), 4 раза в год (сильноагрессивная);

– внеочередные, как реакция на: технологические отказы оборудования, после природного воздействия (подтопление, ураган, снег, землетрясение и т.д.), изменение состояния конструкций (прогибы, сдвиг, вибрация и т.д.), взрывы, аварии.

Дополнительной формой контроля является процедура обязательного обследования конструкций независимо от их состояния (см. табл. 3.2) перед капитальным ремонтом или реконструкцией объекта.

Таблица 3.2 – Сок первого обследования конструкций после ввода объекта в эксплуатацию

Строительные конструкции	Периодичность (лет) с учетом условий эксплуатации		
	в нормальной среде	в агрессивной среде	с вибрацией, динамикой и т.д.
Фундаменты:			
- железобетонные, бетонные	20	10	5
- бутовые, кирпичные	15	8	5
Каменные стены	20	15	12
Колонны:			
- металлические	30	25	18
- железобетонные	15	8	5
- кирпичные	15	8	5
- деревянные	0	5	4
Стропильные фермы:			
- металлические	25	15	10
- железобетонные	10	6	4
- деревянные	8	5	3
Перекрытия:			
- железобетонные	10	6	4
- деревянные	10	5	3

Согласно [1] общие обследования должны проводиться с периодичностью 1 раз в 3 года, а детальные – по результатам общего обследования, при изменении нагрузок и среды эксплуатации.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие факторы учитывают при выборе метода усиления?
2. Какие основные особенности вы можете выделить при составлении классификации методов усиления?
3. Назовите способы обеспечения условий для совместной работы усиливаемой конструкции с элементами усиления.
4. Перечислите факторы, которые влияют на безопасное ведение работ по усилению.
5. Какие меры следует предусмотреть для обеспечения безопасных условий организации и проведения работ по усилению строительных конструкций?
6. Какие мероприятия проводятся по обеспечению нормальных условий эксплуатации конструкций?
7. Влияет ли агрессивность среды на структуру организации работ по эксплуатации объекта?
8. Как изменится организация работ по эксплуатации при наличии усиленных конструкций и почему?
9. Согласуется ли с заказчиком принятый метод усиления и почему?
10. Как осуществляется эксплуатация усиленной конструкции?

## **ТЕМА №4. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЁТА УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **Перечень рассматриваемых вопросов:**

- 4.1 Основные принципы проектирования усиления (с.10-18 [38])
- 4.2 Общие положения по расчёту. (с.130-133 [13])
- 4.3 Определение характеристик материалов. (с.6-23 [50])
- 4.4 Учёт дефектов и повреждений при расчёте. (с.22-29 [48])
- 4.5 Обеспечение совместной работы СК и элементов усиления. (с.4-29 [47])

### **4.1 Основные принципы проектирования**

При проектировании усиления следует учитывать следующие особенности.

Принятый метод усиления должен быть согласован с заказчиком и отвечать конкретным условиям реализации, экологичности и надёжности.

Предпочтение следует отдавать индустриальным методам, требующим меньшей трудоёмкости и времени реализации, обладающих наиболее чёткой схемой работы.

Расчёт следует производить по действующим НТД, позволяющим более полно учесть резервы СК, фактические характеристики материалов и нагрузок.

Особое внимание следует уделить способу плавного включения элементов усиления и СК в совместную работу, обеспечению принятых при расчёте условий существования и их контроля во времени.

При выборе арматуры для усиления рекомендуется:

- при длине до 12.0 м использовать любые классы арматуры, а более 12.0 м – канаты из проволоки диаметром не менее 2.5 мм (канаты, пряди из высокопрочной проволоки следует располагать вне конструкции только в неагрессивных или слабоагрессивных средах);

- допускается использовать стержневую высокопрочную арматуру классов S540, S800, S1200 и S1400, используя для удлинения не сварку, а обжимные гильзы или муфты.

При выборе бетона для усиления рекомендуется:

- класс бетона по прочности должен быть не менее  $C^{12}/_{15}$  и выше не менее чем на одну ступень класса бетона усиливаемой СК (для сборно-монолитных конструкций класс бетона должен быть не менее  $C^{16}/_{20}$ );

- применять пластифицированные бетонные смеси с осадкой конуса не менее 18 см (вяжущее – портландцемент не менее M400, крупность заполнителя – песок с модулем крупности 2.2..2.5, щебень фракции 10..20 – не более  $\frac{3}{4}$  расстояния в свету между арматурными стержнями в густоармированных сечениях и из условия обеспечения плотности структуры). Допускается применение мелкозернистого бетона.

При использовании в расчётном сечении бетона и арматуры различных классов каждый материал используется со своими характеристиками. При этом центр тяжести усиленного сечения, статические моменты определяют после приведения сечения к однородному (приведенному). Допускается выполнять расчёт приведенного сечения с соответствующими (обобщёнными) характеристиками.

При усилении конструкций без разгрузки или при нагрузке 65% и более от предельного сопротивления бетона и арматуры учитывают с коэффициентом 0.9.

При приварке к существующей арматуре стержней усиления её площадь поперечного стержня снижается на 25% в связи с возможным пережогом при сварке.

### **4.2 Общие положения по расчёту.**

Конструкции, не удовлетворяющие требованиям действующих норм, по результатам проверочных расчётов подлежат восстановлению (ремонт, усиление, замена). Усиление СК выполняется при обосновании его экономической целесообразности.

Условия проверки базовой конструкции.

Расчёт по I группе предельных состояний производится всегда.

Расчёт по II группе предельных состояний допускается не производить, если фактическая величина перемещения и ширина раскрытия трещин не превышают предельно допустимых, а усилия в сечении от новых нагрузок не превышают фактических, действующих на момент обследования (при расчёте используют фактические параметры и размеры сечения, характеристики материалов, нагрузки, расчётную схему и т.д.).

Расчёт усиленной конструкции производится по двум стадиям работы:

а) до включения усилия в работу – на нагрузки, действующие в момент усиления (масса элементов усиления считается за внешнюю нагрузку). На этой стадии работы СК должна удовлетворять требованиям первой группы предельных состояний.

б) после включения усиления в работу – на полную нагрузку при эксплуатации. На этой стадии работы СК должна удовлетворять требованиям первой и второй групп предельных состояний.

При расчёте усиливаемой СК следует учесть:

- параметры напряжённого-деформированного состояния СК, существующего до включения усиления в работу;

- работу различных классов бетона и арматуры;

- при повреждении 50% и более поперечного сечения элементов или рабочей арматуры – они в расчёте не учитываются;

- не учитывается в расчёте и высокопрочная арматура (высокопрочная проволока и изделия из неё – класс S1200 и S1400, отдельные проволоки, пряди, канаты и т.д.) при обнаружении язвенной или точечной коррозии на поверхности;

- параметры СК, имеющей критические повреждения.

Расчёт прочности усиленной конструкции имеет ряд особенностей, зависящих и от выбранного вида усиления.

Для конструкций, усиливаемых под нагрузкой или после разгрузки, необходимо определить параметры НДС до усиления, затем ввести расчёт усиленной конструкции с учётом перераспределения усилия в сечениях.

При усилении СК методом увеличения размеров поперечного сечения для расчёта используют деформационную модель и суммируют деформации до и после усиления в сечении усиливаемой СК, а в дополняемой части сечения принимают линейное распределение по высоте средних деформаций в бетоне и арматуре. Допускается использовать так называемую альтернативную модель.

При усилении СК дополнительными элементами, совместная работа которых обеспечивается не по всей длине контакта, а закреплением их окончаний (например, затяжка), необходимо учесть в расчёте податливость узлов закрепления.

Метод усиления СК, изменяющий степень её внешней статической неопределимости (например, жёсткие или упругие опоры, создание неразрезности на опорах и т.д.) требует определения усилий в сечении от внешней нагрузки, получаемой суммированием нагрузки до усиления и после его реализации.

Расчёты по пригодности к эксплуатации следует производить, оценивая деформации, как усиливаемой конструкции, так и дополнительной части сечения.

За критерий образования трещин в усиленной СК принимают достижение крайними растянутыми волокнами основной и (или) дополнительной части сечения предельных деформаций растяжения.

Ширина раскрытия нормальных трещин определяется как взаимное накопление смещений арматуры и бетона на длине участков между трещинами в основной и (или) дополнительной части сечения.

#### **4.3 Определение характеристик материалов.**

При расчёте усиленной СК используют характеристики бетона и арматуры как ранее выполненной конструкции, так и усиления. Для материалов усиления (бетона и арматуры) принимают характеристики по СНБ 5.03.01-02 [13].

Для бетона усиливаемой СК:

- при натурном обследовании – гарантированная прочность составляет 80% средней прочности бетона;

- по проектным данным: характеристики по классу бетона С по СНБ 5.03.01-02; характеристики по условному классу бетона, соответствующему гарантированной прочности бетона равной классу бетона В (МПа); 0.08 от марки бетона М (кг/см<sup>2</sup>), устанавливавшейся по кубам с размером ребра 150 мм; 0.085 от марки бетона М (кг/см<sup>2</sup>), устанавливавшейся по кубам с размером ребра 200 мм;

Для арматуры усиливаемой СК:

- по проектным данным для арматуры с учётом уровня обеспеченности этих характеристик на момент проектирования;

- по результатам испытания образцов арматуры с учётом нормируемого уровня обеспеченности;

- допускается определять расчётное сопротивление арматуры в зависимости от её профиля: с гладкой поверхностью – 155 МПа; периодического профиля – 245 МПа (с одинаковым заходом на обеих сторонах профиля - типа «винт»), 355 МПа (с разным заходом профиля – типа «ёлочка»); 315 МПа (серповидный профиль).

Расчётное сопротивление арматуры сжатию принимается равным расчётному сопротивлению растяжения и не более 500 МПа.

Методика определения фактических характеристик материалов дана в конспекте лекций по курсу «Диагностика технического состояния зданий и сооружений» [31].

#### **4.4 Учёт дефектов и повреждений при расчёте.**

При расчёте учитывают:

- фактические размеры сечения, расчётные схемы и нагрузки;
- фактические характеристики материалов усиления и усиливаемой конструкции;
- дефекты и повреждения, установленные в процессе обследования;
- особенности и условия устройства, включения в работу и эффективность принятого метода усиления.

Указанные особенности, учитывающие реальные условия работы усиливаемого элемента оцениваются системой коэффициентов.

Повреждения (дефекты) бетона (сечения).

Для конструкций с повреждением поперечного сечения на 50% и более усиление рассчитывается на действие полной нагрузки.

К расчёту принимают сечение, где имеют место местные повреждения (дефекты), а также снижение прочности бетона на 20% и более.

К расчёту принимаются фактические размеры поперечного сечения (сечений) элемента.

Состояние и условия работы арматуры.

Повреждение поперечного сечения арматуры коррозией (обрыв стержней) – учитывается фактическое сечение арматуры (при уменьшении поперечного сечения в результате коррозии металла на 50% и более она не учитывается в расчёте).

Высокопрочная проволока и изделия с её использованием (пряди, канаты) при наличии точечной или язвенной коррозии в расчёте не учитывается.

При нарушении условий закрепления продольной сжатой арматуры поперечными стержнями (повреждение хомутов, мест приварки, увеличение шага) с целью недопущения их бокового выпучивания – такие сжатые стержни не учитываются в расчёте.

При приварке к существующей арматуре дополнительных стержней под нагрузкой 65% и более от расчётной вводится к расчётному сопротивлению арматуры понижающий коэффициент  $\gamma_{s, ad} = 0.9$ .

#### Учёт фактического состояния усиливаемой конструкции.

Сквозные трещины по контакту сопряжения полки и ребра изгибаемого элемента с поперечным сечением таврового или двутаврового очертания – свесы полок в расчёте не учитываются.

Продольные трещины в зоне анкеровки рабочей арматуры – расчётное сопротивление арматуры умножается на понижающий коэффициент  $k_1=0.5$  (для средних стержней) и  $k_1=0.25$  (для угловых стержней).

При наличии наклонных трещин характеристики бетона наращивания и дополнительной поперечной арматуры принимаются с понижающими коэффициентами:

-  $\gamma_{sw, ad} = 0.9$  и  $\gamma_{cd, ad} = 0.9$ , если поперечная арматура преднапрягается;

-  $\gamma_{sw, ad} = 0.7$  и  $\gamma_{cd, ad} = 0.7$ , если поперечная арматура ставится без преднапряжения.

### **4.5 Обеспечение совместной работы конструкций и элементов усиления.**

Обеспечение совместной работы усиливаемой конструкции с элементами усиления достигается рядом технологических и конструктивных мероприятий, обеспечивающих как «включение» элементов усиления в работу, передачу усилий, так и совместное деформирование.

#### **4.5.1 Подготовка поверхности усиливаемой конструкции**

Производится по двум причинам. Во-первых, материал усиления до включения в работу, является дополнительной нагрузкой. Во-вторых, это способствует восстановлению части упругих деформаций, которая в дальнейшем, после устройства усиления, могут использоваться для включения усиления в работу. Эффект от такого мероприятия следует ожидать только при снятии не менее 30..35% действующей на момент усиления нагрузки. При этом необходимо обеспечить совместную работу «старого» и «нового» материала, используя силы сцепления, величина и стабильность которых зависят от качества подготовки поверхности усиливаемой конструкции.

Подготовка поверхности бетона заключается в создании условий организации совместной работы усиливаемой конструкции с материалом усиления. Поверхность бетона очищается от слабого бетона, загрязнённого (проливы, пропитки технологическими составами снижающими сцепление), устраиваются шпонки. Размеры подготавливаемой поверхности принимают по проекту усиления и осмотре (шелушение бетона, глухой звук при простукивании и т.д.). Используют механический, термический, химический и конструктивный методы.

Механический способ предполагает использование электрических и пневматических машин (щётки, пучковые молотки, пескоструйные, гидropескоструйные, дробепескоструйные технологии) с регулируемой энергией воздействия. Оптимальная толщина снимаемого материала от 0.5 мм до 5 мм, шероховатость поверхности по проекту или (если нет указаний) по неровности – 2.5..5.0 мм на базовой длине 200 мм по ГОСТ 22753; волнистость до 10 мм по ГОСТ 13015.0.

Термический способ базируется как на отжиге поверхностного загрязнения, так и на разрушении цементного камня на глубину до 5 мм. Используется совместно с любым механическим методом (для удаления разрушенного материала).

Химический метод предполагает нанесение на загрязнённую поверхность на строго определённое время подобранных в лаборатории химически активных растворов для растворения материалов загрязнений. Удаление раствора производится водой под давлением.

Пример. Поверхность подвергавшаяся воздействию кислых агрессивных сред должна быть: промыта водой; щелочным раствором (4-5% раствором кальцинированной соды) и опять промыта водой.

При наличии жировых, маслянистых, фенол-маслянистых пятен, виниловых покрытий используют следующий состав (дан в % по массе): диоксолан-один 50-55%, бензол 30-35%, спирт этиловый 10-15%.

Конструктивный метод предлагает создание искусственных элементов, увеличивающих параметры совместной работы. К ним отнесём: устройство шпонок (треугольные, прямоугольные, трапециевидные, в виде борозд; приварка к существующей арматуре анкеров: установкой и замоноличиванием анкеров в высверленных (вырубленных) углублениях.

Общие операции для всех методов является промывка поверхности водой под давлением и сушка (при нанесении специальных клеев) или увлажнении в течении 12..24 часов до полного увлажнения (при укладке дополнительного слоя бетона).

Нанесение на подготовленную бетонную поверхность клеевых составов увеличивает не только сцепление, но и стоимость, поэтому используется при обосновании и усилении намоноличиванием. Используют: цементный клей, полимерцементный раствор, поливинилацетатную дисперсию, силиконовый или эпоксидный клей и так далее.

Например. Силоксановый клей наносится толщиной 3..5 мм, готовится небольшими порциями (жизнедеятельность составляет 100..120 мин при температуре равной 15..20 °С, при температуре меньше 10 °С применение запрещается). Состав (дан в весовых частях): смесь жидкого стекла (ГОСТ 13078) и тринатрий фосфата (ГОСТ 201) – 35 ч; портландцемент М 500 ДО (ГОСТ 8735) – 30 ч. При изготовлении должна строго соблюдаться процедура: растворить тринатрий фосфат (13%) в жидком стекле (100%) и перемешивать в течении 30 минут с растворителем СБ-43. Смесь хранится в герметичной таре при температуре 15..20 °С. На месте укладки: готовят порциями: смешивают с цементом (перемешивание в течении 2..3 минут); добавляют песок (смешивание в течение 5..6 мин); наносят на сухую поверхность мастерком; через 40..60 мин укладывают бетон усиления.

Подготовка поверхности арматуры. Объём и состав работ определяется в зависимости от вида повреждения и состояния поверхности арматуры. В любом случае поверхность арматуры очищается от бетона или загрязнений. Арматурный стержень освобождается от бетона: по длине – на 20 мм длиннее повреждённого участка в обе стороны; по периметру – на величину не менее диаметра и с учётом вида ремонтного материала. Очистка производится щётками, щётками-насадками на электродрель. При налёте продуктов коррозии не более 60 мкм можно использовать модификатор ржавчины. При повреждении коррозией арматуры на 30% и более поперечного сечения её рекомендуется вырезать и заменить новой.

Бетон удаляется под углом 90° (при использовании расширяющихся ремонтных составов) и 45..90° (при использовании обычных составов). Поверхность арматуры обеспыливается сжатым воздухом и промывается водой под давлением. Оставшиеся после обработки пятна продуктов коррозии удаляют нанесением следующих составов:

- ЗиМ по ТУ РБ 2876070.001-97;
- преобразователь ржавчины по ТУ РБ 07615101.030-96;
- полимерминеральная грунтовка (праймер). Вид праймера определяется в каждой системе защиты свой. Например, система защиты «Полимикс».
- грунтовка – праймер полимерминеральная по СТБ 1072-97;

Система защиты «Парад» - грунтовка-праймер Г-86 по СТБ 1263-2001 или АК-087 по СБК 1827-2008.

Система защиты «Эмаком» - однокомпонентный состав «Mastersel-300».

Для улучшения сцепления поверхности арматуры и поверхности старого бетона с основным ремонтным составом производят нанесение дополнительного слоя. Например:

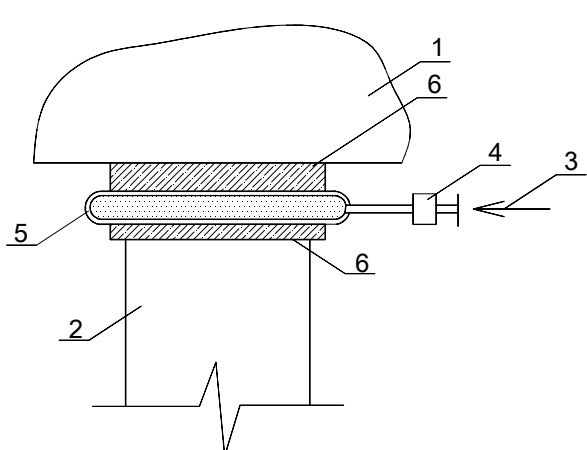
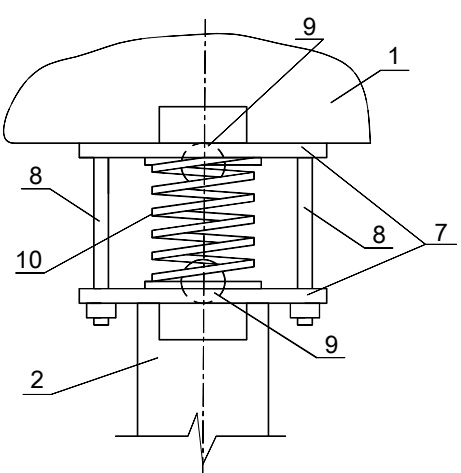
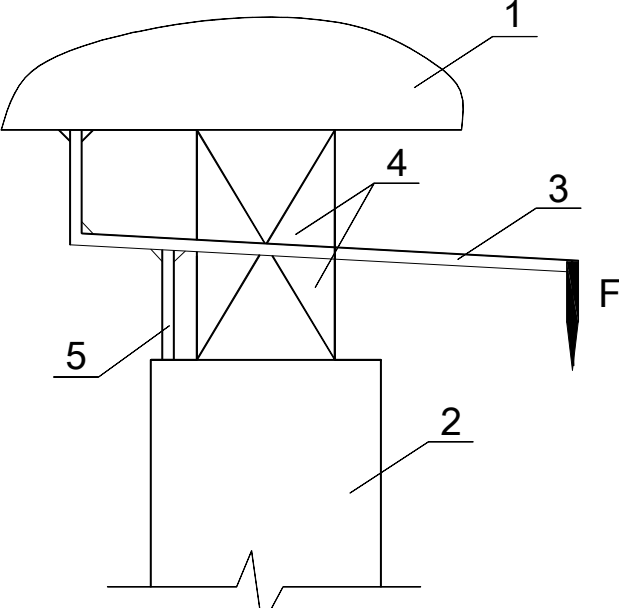
- казеиновый состав (по поверхности арматуры) в частях по массе: ПЦ М400 – 100 ч, казеиновый клей – 5 ч, нитрат натрия – 10 ч, вода – 10 ч;
- «Полимикс» - грунт укрепляющий по СТБ 1072-97;
- грунтовка-праймер НП1 СС «Парад» Г-86 по СТБ 1263-2001.

#### 4.5.2 Включение усиления в работу.

Производится с учётом принятого метода усиления, т.к. при расчёте учитывается (определяется) нагрузка (доля или вся), которая будет действовать на элементы усиления.

В таблице 4.1 даны некоторые схемы таких решений.

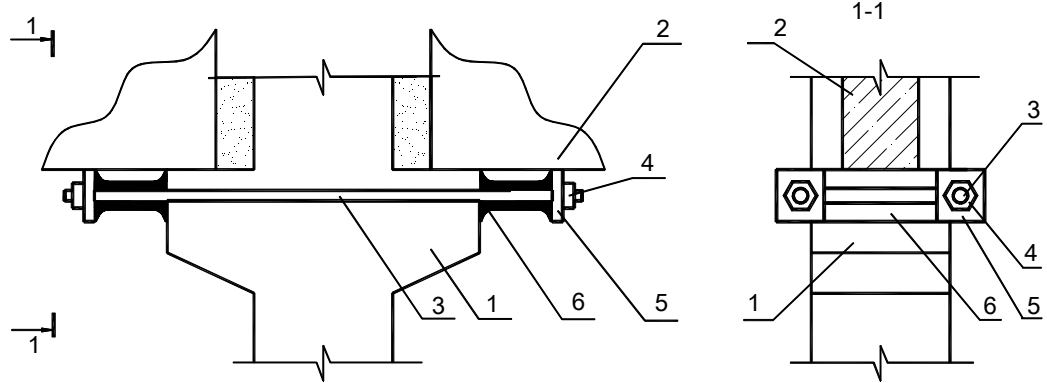
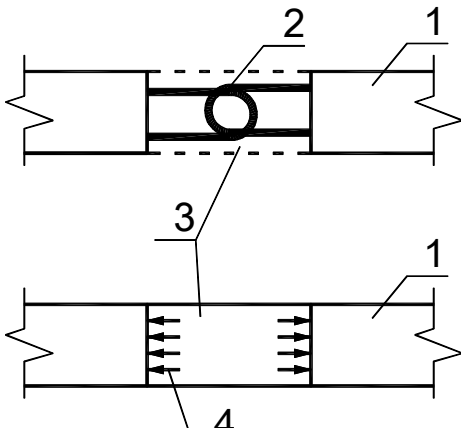
Таблица 4.1. Схемы конструктивных решений включения усиления в работу.

№ п.п.	Схема конструктивного решения
1	<p style="text-align: center;">Оставляемый домкрат</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>а)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>б)</p>  </div> </div> <p>1 - усиливаемая СК; 2 - элемент усиления; 3 - трубопровод; 4 - манометр;  5 - мембранный домкрат; 6 - подкладки; 7 - металлические пластины;  8 - регулирующая тяга; 9 - шарнирная опора; 10 - пружина</p>
2	<p style="text-align: center;">Рычаг</p>  <p>1 - усиливаемая СК;  2 - элемент усиления;  3 - система рычага  4 - рабочие опоры;  5 - фиксирующая опора</p>



<p>3</p>	<p style="text-align: center;"><b>Распорные элементы</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>а)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>б)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">1 - усиливаемая СК; 2 - элементы обоймы; 3 - балка; 4 - прокладка;          5 - упорный элемент; 6 - динамометр; 7 - распорный болт; 8 - гайка;          9 - опорный столик; 10 - фиксирующий сварной шов; 11 - уголок с гайкой;          12 - опорный уголок; 13 - накладки (ставят после усиления)</p>
<p>4</p>	<p style="text-align: center;"><b>Затяжки</b></p> <p style="text-align: center;">1 - усиливаемая СК;          2 - закладная деталь;          3 - нить затяжки;          4 - стяжная муфта</p>
<p>5</p>	<p style="text-align: center;"><b>Преднапряжённые хомуты</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>а)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>б)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">1 - усиливаемая СК; 2 - хомуты усиления; 3 - уголок; 4 - стяжки;          5 - опорный уголок; 6 - гайка; 7 - сварка</p>

Окончание таблицы 4.1

6	<p style="text-align: center;"><b>Преднапряжённые тязи</b></p>  <p style="text-align: center;">1 - усиливаемая консоль; 2 - ригель; 3 - тяз; 4 - гайка; 5 - пластина-шайба; 6 - балки из швеллера</p>
7	<p style="text-align: center;"><b>Бетон на напрягающем цементе</b></p>  <p style="text-align: center;">1 - сборные панели ёмкости; 2 - арматура панелей; 3 - напрягающий бетон; 4 - механизм включения в совместную работу при расширении бетона</p>

**Вопросы для самоконтроля**

1. Каким методом усиления следует отдавать предпочтение и почему?
2. По каким нормативным документам выполняется расчёт усиления СК?
3. Как учитывается масса элементов усиления при расчёте усиливаемой СК?
4. Как при расчёте усиления учитывается исходное напряжённое состояние?
5. Какие принимают характеристики бетона (существующей конструкции и усиления) при расчёте усиления?
6. Какие принимают характеристики арматуры (существующей конструкции и усиления) при расчёте усиления?
7. Как учитывают при расчёте усиления повреждения и дефекты бетона?
8. Как учитывают при расчёте усиления повреждения и дефекты арматуры?
9. Обоснуйте необходимость совместной работы усиливаемой конструкции с элементами усиления?
10. Какие вы знаете способы создания условий для совместной работы конструкций с элементами усиления?

## ТЕМА №5. УСИЛЕНИЕ РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.

### Перечень рассматриваемых вопросов:

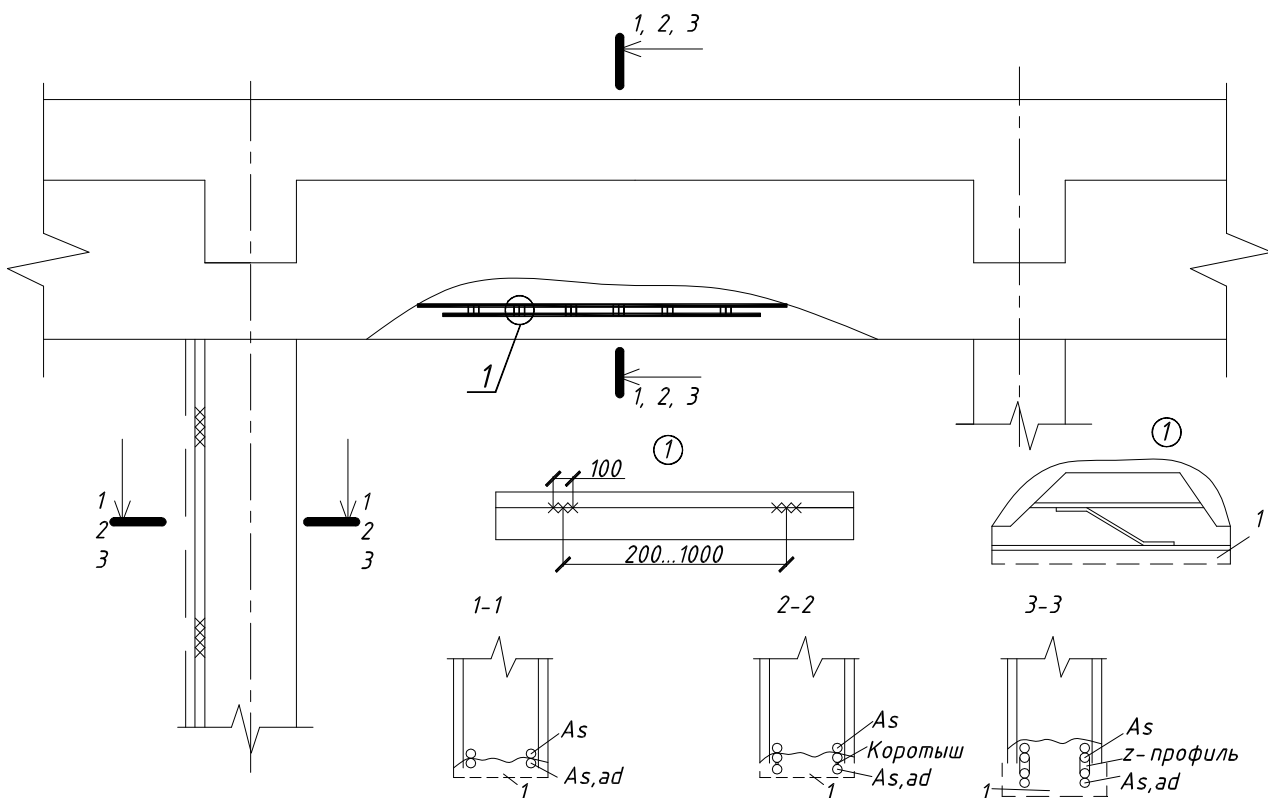
- 5.1 Расчет прочности усиленного нормального сечения (с. 28-35 [26])
- 5.2 Обеспечение совместной работы арматуры усиления с конструкцией (с. 5-30 [45])
- 5.3 Расчет прочности контактного шва в растянутой зоне (с. 127-130 [13])
- 5.4 Пример расчета усиления растянутой зоны приваркой арматуры усиления
- 5.5 Пример расчета усиления растянутой зоны приклейкой арматуры усиления

### 5.1 Расчет прочности усиленного нормального сечения

Увеличение площади сечения арматуры в растянутой зоне производится при условии наличия "запасов" прочности по сжатой зоне и обеспечения совместной работы усиливаемой конструкции с дополнительной арматурой (см. рис. 5.1 и 5.2).

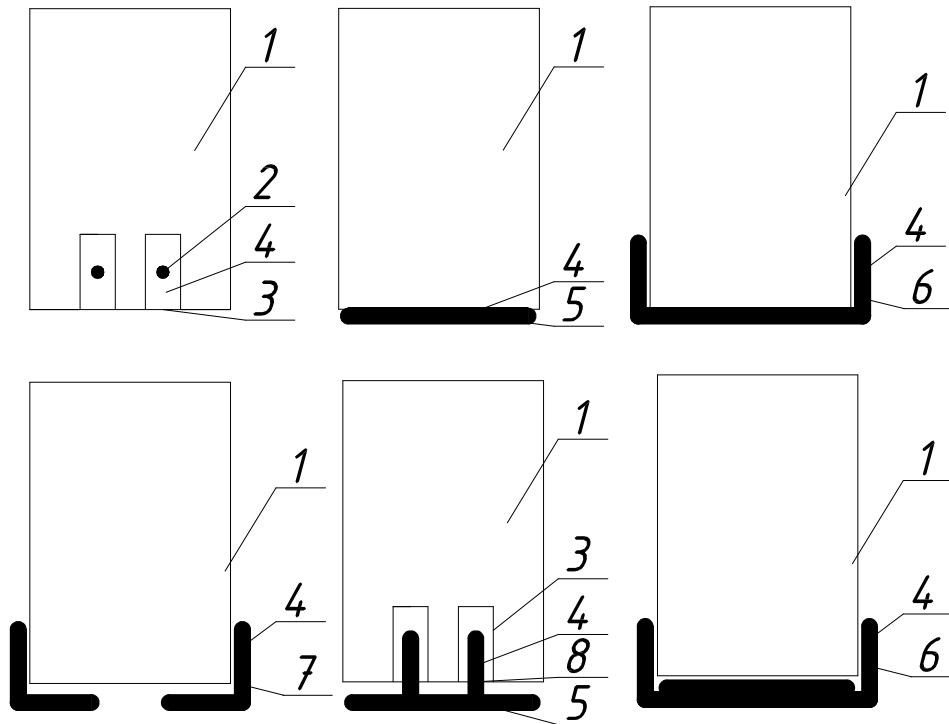
Расчет производится с учетом следующих положений:

- рассматривается сплошное сечение;
- учитываются имеющиеся дефекты (повреждения), фактические размеры и характеристики бетона и арматуры (площадь сечения имеющейся и дополнительной арматуры в запас прочности уменьшают на 15% из-за возможного ослабления при сварке в условиях площадки);
- предельное состояние наступает при достижении в основной и в дополнительной арматуре расчетного сопротивления.



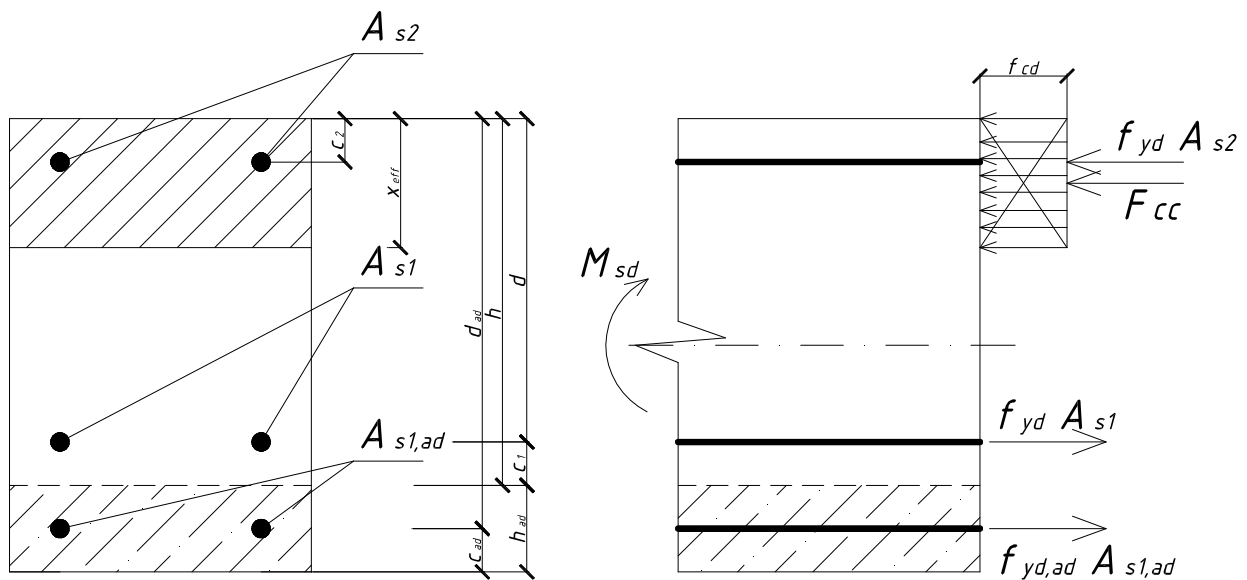
**Рисунок 5.1 – Усиление растянутой зоны конструкций приваркой дополнительной арматуры: 1 - ремонтный состав**

Расчетная схема при расчете прочности нормального сечения изгибаемого элемента приведена на рис. 5.3.



1 - усиливаемая конструкция; 2 - стержневая арматура усиления; 3 - паз;  
 4 - клеевой состав; 5 - листовой прокат; 6, 7 - прокатной профиль; 8 - анкера;

**Рисунок 5.2 – Усиление растянутой зоны конструкций приклеиванием дополнительной арматуры**



**Рисунок 5.3 – Расчетная схема нормального сечения изгибаемого элемента с усиленной растянутой зоной**

Проверяется условие:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (5.1)$$

$$M_{Rd} = f_{yd} \cdot A_{S1} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) + f_{yd} \cdot A_{S2} \cdot (x_{eff} - c_2) + f_{yd,ad} \cdot A_{S1,ad} \cdot (d_{ad} - 0.5 \cdot x_{eff}) \quad (5.2)$$

Высота сжатой зоны определится из условия  $\sum x = 0$

$$f_{yd} \cdot A_{S2} + f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} - f_{yd} \cdot A_{S1} - f_{yd,ad} \cdot A_{S1,ad} = 0 \quad (5.3)$$

При этом должно соблюдаться условие:

$$x_{eff} \leq \xi_{lim} \cdot d_{red} \quad (5.4)$$

где  $d_{red}$  - приведенная рабочая высота сечения

$$d_{red} = \frac{d \cdot f_{yd} \cdot A_{S1} + d_{ad} \cdot f_{yd,ad} \cdot A_{S1,ad}}{f_{yd} \cdot A_{S1} + f_{yd,ad} \cdot A_{S1,ad}} \quad (5.5)$$

Значение  $\xi_{lim}$  определится из условия:

$$\xi_{lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s,lim}}{\sigma_{sc,u}} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} \quad (5.6)$$

где  $\omega$  - характеристика бетона сжатой зоны

$$\omega = 0.85 - 0.008 \cdot f_{cd} \quad (5.7)$$

$\sigma_{sc,u} = 500 \text{ МПа}$  - предельное напряжение в  $A_{S2}$

$\sigma_{s,lim}$  - принимается по арматуре (основной или дополнительной) с более высоким расчетным сопротивлением

Если условие (5.4) не выполняется необходимо выполнить усиление сжатой зоны бетона.

В процессе расчета следует проверить анкеровку основной арматуры, к которой приваривается дополнительная арматура. Для сечений где она используется с полным расчетным сопротивлением, с учетом коэффициента, т.е.  $l_{bd}^{\varphi} \geq l_{bd} \cdot k_{ad}$  (см. п. 11.2.32[13]).

$$k_{ad} = \frac{f_{yd} \cdot A_{S1} + f_{yd,ad} \cdot A_{S1,ad}}{f_{yd} \cdot A_{S1}} \quad (5.8)$$

Т.к. после усиления нормальное сечение будет воспринимать большую нагрузку, следует проверить достаточность прочности наклонного сечения.

При расчете следует учитывать условия производства работ, а именно - если дополнительная арматура приваривается без предварительного напряжения, а действующие нагрузки превышают 65% расчетной величины, то расчетное сопротивление дополнительной арматуры вводится в расчет с коэффициентом  $\gamma_{s,ad} = 0.9$

## 5.2 Обеспечение совместной работы арматуры усиления с конструкцией

Совместная работа арматуры усиления с конструкцией является основным требованием, выполнение которого позволяет использовать соответствующие положения расчетных методик. Совместная работа обеспечивается приваркой к существующей арматуре или приклейкой к подготовленной поверхности бетона.

Соединение арматуры на сварке (см. рис. 5.1). Порядок производства работ:

- вскрывается и очищается от коррозии существующая арматура: вскрытие защитного слоя производится с шагом не менее  $20\varnothing$  ( $\varnothing$  - меньший из диаметров арматуры - существующей или усиления) и не более 1.0 м; повреждение существующей арматуры коррозией д.б не более 50%, а остаточный диаметр не менее  $\varnothing 10$ ;

- дополнительная арматура принимается класса S240, S400, S500 диаметром  $\varnothing 10 \dots \varnothing 32$ : усилие в дополнительной арматуре не должно превышать допустимое усилие в основной арматуре;

- приварка дополнительной арматуры к существующей высокопрочной преднапряженной арматуре S540, S800, S1200 и S1400 не допускается;

- приварка дополнительной арматуры к ненапряженной арматуре допускается при условии ее надежной анкеровки: непосредственно продольным швом ( $l=100 \text{ м}$ ) с

шагом участков 200...1000 мм (через коротыши  $\varnothing 20... \varnothing 36$ ,  $l=100$  мм); (через Z-профили  $\varnothing 10... \varnothing 16$ ) с шагом 200...500 мм;

- при выполнении сварки должны соблюдаться следующие правила: не допускается пережог основной арматуры; если приварка выполняется после разгрузки швы выполняют за один проход, если нет - то за два прохода от концов конструкции к центру;

- приварка дополнительной арматуры к основной арматуре запрещается без дополнительных мероприятий если в ней уровень напряжений составляет 85% и выше от предела текучести (напряжения от фактической на момент выполнения работ нормативной нагрузки);

- при приварке дополнительной арматуры к существующей без разгрузки конструкции рекомендуется включать дополнительную арматуру в работу частичным преднапряжением: механический способ - натяжные устройства, муфты; электро-термическим способом - температура нагрева не более  $400^{\circ}\text{C}$  ( $t_p = \sigma_p / \alpha \cdot E_s + t$ ), а необходимое удлинение -  $\Delta l = \sigma_p \cdot l / E_s$ , где  $\alpha = 0.0012$  - коэффициент температурного расширения арматурной стали,  $t$  - температура среды,  $\sigma_p$  - требуемая величина преднапряжения арматуры,  $l$  - для дополнительной арматуры расстояние между внутренними концами сварных швов,  $\sigma_p$  принимают не менее 0.4 и не более 0.7 предела текучести дополнительной арматуры.

Соединение арматуры приклеиванием (см. рис. 5.2). Порядок производства работ:

- приклейка осуществляется при максимальной разгрузке конструкции;

- для приклейки используют: стержневую арматуру ( $\varnothing 10... \varnothing 32$ ) класса S240, S400, S500; листовой прокат толщиной 4...16 мм из стали C38/23, C44/29 и C46/33; прокатные профили (швеллер, уголок); неметаллическую арматуру на основе углеродных, базальтовых и стеклянных волокон;

- подготовка поверхности: элементы усиления - очищают от ржавчины и обезжиривают (при наличии агрессивных сред - нейтрализуют слабым щелочным 4%...5% процентным раствором каустической соды, промывают, сушат при необходимости поверхность шпатлюют, а трещины инъецируют);

- при усилении арматурой нарезают пазы, используя инструмент с алмазным или твердосплавным рабочим диском;

- элементы усиления защищают огнезащитными и антикоррозионными составами;

- для наклейки используют, как правило, полимеррастворы или составы на эпоксидной основе (на рынке реализуются системы: материал усиления - клеевой состав - защитные покрытия);

- реализуют дополнительные мероприятия по увеличению анкеровки арматуры усиления: анкера - установленные в высверленные отверстия и приваренные к листам усиления отрезки арматуры; приклеенные к боковым поверхностям и к материалу усиления полосы (см. 5.2).

### 5.3 Расчет прочности контактного шва в растянутой зоне

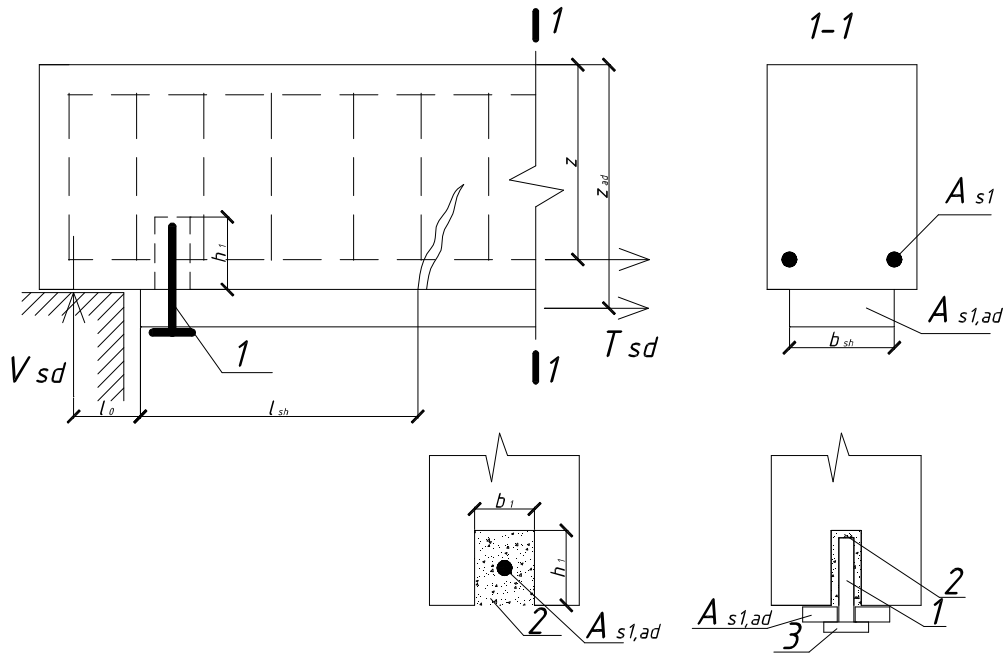
Совместная работа приклеиваемой дополнительной арматуры (листы, профили) обеспечивается контактным швом и, если требуется, дополнительными анкерами (см. рис. 5.4).

Проверяется условие:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd} \quad (5.9)$$

где  $T_{Sd}$  - сдвигающее усилие в сечении 1-1 с  $M_{Sd}^{\max}$

$$T_{Sd} = \frac{M_{Sd} - f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot z}{z_{ad}} \leq f_{yd,ad} \cdot A_{s1,ad} \quad (5.10)$$



1 - анкер; 2 - полимерраствор; 3 - сварка  
**Рисунок 5.4 – К расчету прочности контактного шва**

$$T_{Rd} = f_{cd.sh} \cdot A_{sh} + \gamma_{an} \cdot \lambda \cdot f_{yd.an} \cdot \sum_1^n A_{an} \quad (5.11)$$

Предельное сдвигающее усилие, которое может быть воспринято контактным швом определится:

где: -  $f_{cd.sh} = 1.58 \cdot f_{ctd}$  – расчетное сопротивление срезу бетона;

-  $l_{sh} = l_{1-1} - h$  – расчетная длина контактного шва, сниженная на величину h из-за возможного отклонения трещины;

-  $A_{sh} = l_{sh} \cdot b_{sh}$  – площадь контактного шва для листовой арматуры,  $A_{sh} = l_{sh} \cdot (b_1 \cdot 2h_1)$  - для стержневой арматуры, вклеенной в пазах;

-  $f_{yd.an}$  – расчетное сопротивление металла анкера;

-  $\sum_1^n A_{an}$  – суммарная площадь поперечного сечения анкеров на длине  $l_{sh}$ ;

-  $\gamma_{an}$  – коэффициент условия работы анкеров:  $\gamma_{an} = 1$  – при отсутствии клеевого шва;  $\gamma_{an} = 0.5$  – при работе анкеров и клеевого шва;

-  $\lambda$  – коэффициент, учитывающий включение анкеров в работу.

$$\lambda = 4.7^3 \cdot \sqrt{f_{cd}} / [(1 + 0.0015 A_{an})^3 \cdot \sqrt{f_{yd.ad}}] \leq 0.7 \quad (5.12)$$

Размер шурфа под анкер принимаются по зависимости:

$$\gamma_{an} \cdot \lambda \cdot f_{yd.ad} \cdot \sum_1^n A_{an} = \pi \cdot \phi_u \cdot l_u \cdot f_{cd.ah} \quad (5.13)$$

где  $\phi_u$  и  $l_u$  – диаметр и глубина шурфа под анкер.

Установку анкеров допускается не выполнять (сдвиг воспринимается клеевым швом), если выполняется условие:

$$M_{Sd1} \leq M_{crc} = 1.75 \cdot W_0 \cdot f_{ctd}$$

где  $M_{Sd1}$  – изгибающий момент на расстоянии  $l_0 + 20\delta_{ad}$

$\delta_{ad}$  – толщина дополнительной арматуры - листа.

#### 5.4 Пример расчета усиления растянутой зоны приваркой дополнительной арматуры

Исходные данные: необходимо проверить прочность железобетонной балки сечением 250x600 мм из тяжелого бетона класса С12/15 ( $f_{cd} = 8.0 \text{ МПа}$ ) армированной арматурой класса S400 ( $f_{yd} = 365 \text{ МПа}$ ) в сжатой зоне 2 Ø12 S400 ( $A_{s2} = 226 \text{ мм}^2$ ) и в растянутой зоне 2 Ø20 S400 ( $A_{s1} = 628 \text{ мм}^2$ ) после ее усиления (2 Ø18 S400  $A_{s1.ad} = 509 \text{ мм}^2$ ). Усиление производилось без разгрузки балки - нагрузка составляла 70% от предельно допустимой. Усиление вызвано необходимостью увеличения нагрузки, вызывающей наибольший момент величиной  $M_{sd} = 160 \text{ кН}\cdot\text{м}$ . При расчете учитываем дополнительные коэффициенты условия работы, а именно:  $\gamma_{c.ad} = 0.9$  и  $\gamma_{s.ad} = 0.9$  (усиление без разгрузки при уровне, превышающем 65% от предельно допустимой нагрузки);  $k_s = k_{s.ad} = 0.85$  (приварка дополнительной арматуры к основной).

1. Определим высоту сжатой зоны:

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot k_s \cdot A_{s1} + f_{yd} \cdot \gamma_{s.ad} \cdot k_{s.ad} \cdot A_{s1.ad} - f_{yd} \cdot A_{s2}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{365 \cdot 0.85 \cdot 628 + 365 \cdot 0.9 \cdot 0.85 \cdot 509 - 365 \cdot 226}{1.8 \cdot 250} = 127.24 \text{ мм}$$

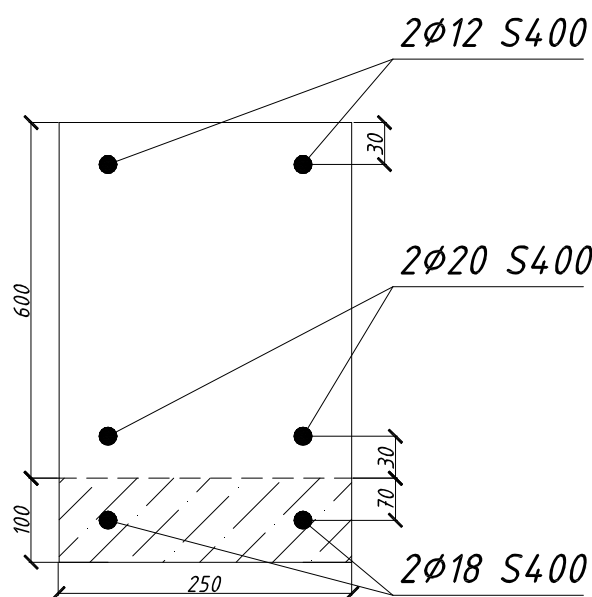


Рисунок 5.5 – К расчету усиления растянутой зоны приваркой дополнительной арматуры

2. Приведенная рабочая высота сечения определяется:

$$d_{red} = \frac{d \cdot f_{yd} \cdot k_s \cdot A_{s1} + d_{ad} \cdot \gamma_{s.ad} \cdot k_{s.ad} \cdot f_{yd.ad} \cdot A_{s1.ad}}{f_{yd} \cdot k_s \cdot A_{s1} + \gamma_{s.ad} \cdot k_{s.ad} \cdot A_{s1.ad}} = \frac{(600 - 30) \cdot 365 \cdot 0.85 \cdot 628 + (600 + 70) \cdot 0.9 \cdot 0.85 \cdot 365 \cdot 509}{365 \cdot 0.85 \cdot 628 + 0.9 \cdot 0.85 \cdot 365 \cdot 509} = 612.2 \text{ мм}$$

3. Граничное значение относительной высоты сжатой зоны:

$$\xi_{lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s.lim}}{\sigma_{sc.u}} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} = \frac{0.768}{1 + \frac{0.9 \cdot 365}{500} \cdot \left(1 - \frac{0.768}{1.1}\right)} = 0.66$$

Характеристика сжатой зоны тяжелого бетона:

$$\omega = 0.85 - 0.008 \cdot f_{cd} = 0.85 - 0.008 \cdot 1.8 = 0.768$$



4. Проверяем условие  $x_{eff} \leq \xi_{lim} \cdot d_{red}$ :

$$x_{eff} = 127.24 \text{ мм} < \xi_{lim} \cdot d_{red} = 0.66 \cdot 612.2 = 404.1 \text{ мм}$$

5. Определим предельное значение  $M_{Rd}$ :

$$M_{Rd} = f_{yd} \cdot k_s \cdot A_{s1} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (x_{eff} - c_1) + f_{yd.ad} \cdot k_{s.ad} \cdot A_{s1.ad} \cdot (d_{ad} - 0.5 \cdot x_{eff}) =$$

$$= 365 \cdot 0.85 \cdot 628(570 - 0.5 \cdot 127.24) + 365 \cdot 0.9 \cdot 0.85 \cdot 509 \cdot (670 - 0.5 \cdot 127.24) + 365 \cdot 226 \cdot (0.5 \cdot 127.24 - 30) = 187.61 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

6. Проверяем условие  $M_{Sd} = 160 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_{Rd} = 187.61 \text{ кН} \cdot \text{м}$

Прочность нормального сечения обеспечена

### 5.5 Пример расчета усиления растянутой зоны наклейкой дополнительной арматуры

Исходные данные: необходимо проверить прочность ригеля из тяжелого бетона класса C20/25 ( $f_{cd} = 13.3 \text{ МПа}$ ), армированного арматурой класса S400 ( $f_{yd} = 365 \text{ МПа}$ ) в сжатой зоне 2 Ø14 S400 ( $A_{s2} = 314 \text{ мм}^2$ ) и в растянутой зоне 2 Ø32 S400 ( $A_{s1} = 1608 \text{ мм}^2$ ) после его усиления наклейкой листовой арматуры из стали С345 ( $R_{yd} = 335 \text{ МПа}$ ). Усиление производили при полной разгрузке ригеля. Усиление вызвано необходимостью использования ригеля под большую нагрузку, вызывающую наибольший изгибающий момент  $M_{Sd} = 500 \text{ кН} \cdot \text{м}$ . При расчете учтено, что дефектов и повреждений бетона и коррозии арматуры нет.

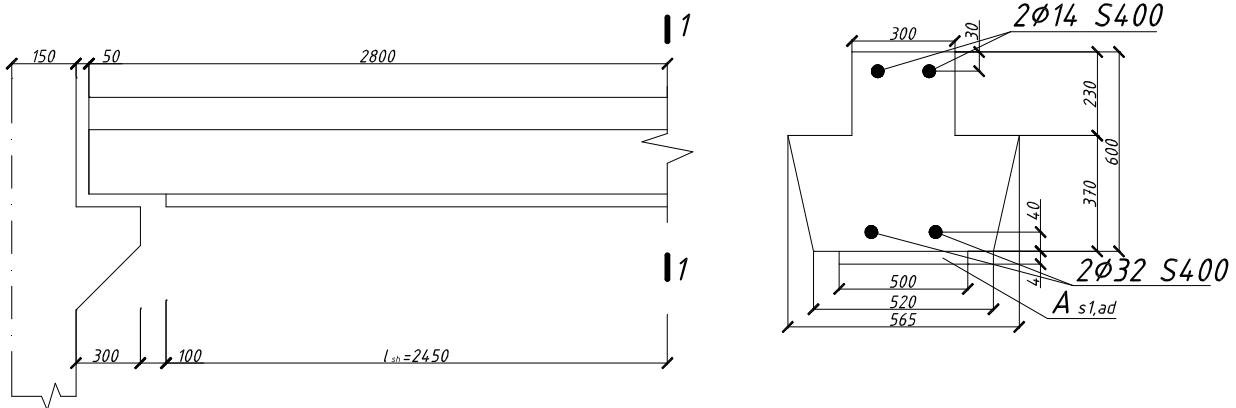


Рисунок 5.6 – К расчету усиления растянутой зоны наклейкой дополнительной арматуры

1. Определим высоту сжатой зоны:

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1} + f_{yd.ad} \cdot A_{s1.ad} - f_{yd} \cdot A_{s2}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{365 \cdot 1608 + 335 \cdot 500 \cdot 4 - 365 \cdot 314}{1 \cdot 13.3 \cdot 300} = 286.3 \text{ мм}$$

2. Приведенная рабочая высота сечения определяется:

$$d_{red} = \frac{d \cdot f_{yd} \cdot A_{s1} + d_{ad} \cdot f_{yd.ad} \cdot A_{s1.ad}}{f_{yd} \cdot A_{s1} + f_{yd.ad} \cdot A_{s1.ad}} = \frac{(600 - 40) \cdot 365 \cdot 1608 + (600 + 2) \cdot 335 \cdot 500 \cdot 4}{365 \cdot 1608 + 335 \cdot 500 \cdot 4} = 574.4 \text{ мм}$$

3. Граничное значение относительной высоты сжатой зоны:

$$\xi_{lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s.lim}}{\sigma_{sc.u}} \cdot \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} = \frac{0.744}{1 + \frac{365}{500} \cdot \left(1 - \frac{0.744}{1.1}\right)} = 0.601$$

$$\omega = 0.85 - 0.008 \cdot f_{cd} = 0.85 - 0.008 \cdot 13.3 = 0.744$$

4. Проверяем условие  $x_{eff} \leq \xi_{lim} \cdot d_{red}$ :

$$x_{eff} = 286.3 \text{ мм} < \xi_{lim} \cdot d_{red} = 0.601 \cdot 574.4 = 345.2 \text{ мм}$$

5. Определим предельное значение  $M_{Rd}$ :

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (d - 0.5 \cdot x_{eff}) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (0.5 \cdot x_{eff} - c_2) + f_{yd.ad} \cdot A_{s1.ad} \cdot (d_{ad} - 0.5 \cdot x_{eff}) = \\ &= 365 \cdot 1608 \cdot (560 - 0.5 \cdot 286.3) + 335 \cdot 4 \cdot 500 \cdot (602 - 0.5 \cdot 286.3) + 365 \cdot 226 \cdot (0.5 \cdot 286.3 - \\ &- 30) = 561.42 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

6. Проверяем условие  $M_{Sd} = 500 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_{Rd} = 561.42 \text{ кН} \cdot \text{м}$

Прочность нормального сечения обеспечена.

7. Проверка прочности контактного шва.

Совместная работа дополнительной листовой арматуры обеспечивается приклейкой к подготовленной поверхности бетона (промыта и высушена, каверны отсутствуют) полимерным раствором.

Проверим условие  $T_{Sd} \leq T_{Rd}$ , фактическое сдвигающее усилие определится:

$$T_{Sd} = \frac{M_{Sd} - f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot z}{z_{ad}} = \frac{500 \cdot 10^6 - 365 \cdot 1608 \cdot 560}{602} = 283.62 \text{ кН} < f_{yd.ad} \cdot A_{s1.ad} = 335 \cdot 500 \cdot 4 = 670 \text{ кН}$$

Предельное сдвигающее усилие, которое может быть воспринято контактным швом определится:

$$T_{Rd} = f_{cd.sh} \cdot A_{sh} = 1.58 \cdot 925 \cdot 10^3 = 1461.5 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

где  $f_{cd.sh}$  – расчетное сопротивление срезу бетона

$$f_{cd.sh} = 1.58 \cdot f_{ctd} = 1.58 \cdot 1.5 / 1.5 = 1.58 \text{ МПа}$$

$A_{sh}$  – площадь контактного шва

$$A_{sh} = l_{sh} \cdot b_{ad} = (2450 - 600) \cdot 500 = 925000 \text{ мм}^2$$

Т.к. условие  $T_{Sd} = 283.62 \text{ кН} < T_{Rd} = 1461.5 \text{ кН}$  (18.9%) выполняется с большим запасом, дополнительные анкера не ставим. После приклейки дополнительной арматуры выполняем защиту металла от коррозии.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Когда принимается решение о усилении растянутой зоны конструкции?
2. Как обеспечивается совместная работа конструкции и дополнительной арматуры?
3. Какие способы усиления конструкций по растянутой зоне вы знаете?
4. Как учитывают при расчете неустранимые дефекты и повреждения?
5. Почему при усилении требуется разгрузка усиливаемой конструкции?
6. Как производится расчет нормального сечения усиленного элемента?
7. Какие требования предъявляют к существующей арматуре, усиливаемой конструкции, до и после усиления?
8. Как учитывают в расчете особенности производства работ по усилению?
9. Какие мероприятия реализуют для "включения" дополнительной арматуры в работу?
10. Предусматривают ли для дополнительной арматуры мероприятия для защиты от коррозии и температуры?

## ТЕМА №6. УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАРАЩИВАНИЕМ СЕЧЕНИЯ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

6.1 Усиление наращиванием при отсутствии сцепления между существующим и новым бетоном. (с.32-33 [33]).

6.2 Усиление наращиванием при наличии сцепления между существующим и новым бетоном. (с.38-42 [38]).

6.3 Усиление наклонного сечения. (с.50-58 [50]).

### 6.1 Усиление изгибаемых элементов наращиванием при отсутствии сцепления между существующим и новым бетоном

При реконструкции перекрытий эксплуатировавшихся в агрессивных условиях или при наличии пропитки поверхности бетона существующих конструкций составами, исключаящими совместную работу, выполняют усиление, которое не будет иметь связи в контактной плоскости.

Усиление конструкций (чаще плитных) выполняют с учетом работы усиливаемой конструкции и усиления.

Проверяется условие:

$$M_{sd} \leq M_{Rd} = M_{Rd1} + M_{ad}; \quad (6.1)$$

где  $M_{Rd1}$  - изгибающий момент, воспринимаемый усиливаемой конструкцией.

$$M_{Rd1} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (d - 0.5 \cdot X_{eff}); \quad (6.2)$$

$M_{ad}$  - изгибающий момент, воспринимаемый усилением.

Высота сжатой зоны определяется:

$$X_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (6.3)$$

Значение  $M_{ad}$  определяется из условия равенства кривизны усиливаемой конструкции и элемента усиления (см. рис. 6.1).

$$\frac{1}{\rho_1} = \frac{1}{\rho_{ad}} = \frac{1}{\rho}; \quad (6.4)$$

Это же условие запишется.

$$\frac{M_{Rd1}}{B_1} = \frac{M_{ad}}{B_{ad}} = \frac{M_{Rd}}{B_1 + B_{ad}}; \quad (6.5)$$

$$M_{ad} = \frac{M_{Rd1} \cdot B_{ad}}{B_1} = \frac{M_{Rd} \cdot B_{ad}}{B_1 + B_{ad}}; \quad (6.6)$$

где  $B_1$  - жесткость усиливаемого элемента.

$B_{ad}$  - жесткость элемента усиления.

$$B_{ad} = \frac{M_{ad}}{M_{Rd1}} \cdot B_1; \quad (6.7)$$

При принятых размерах элемента усиления определим его прочность.

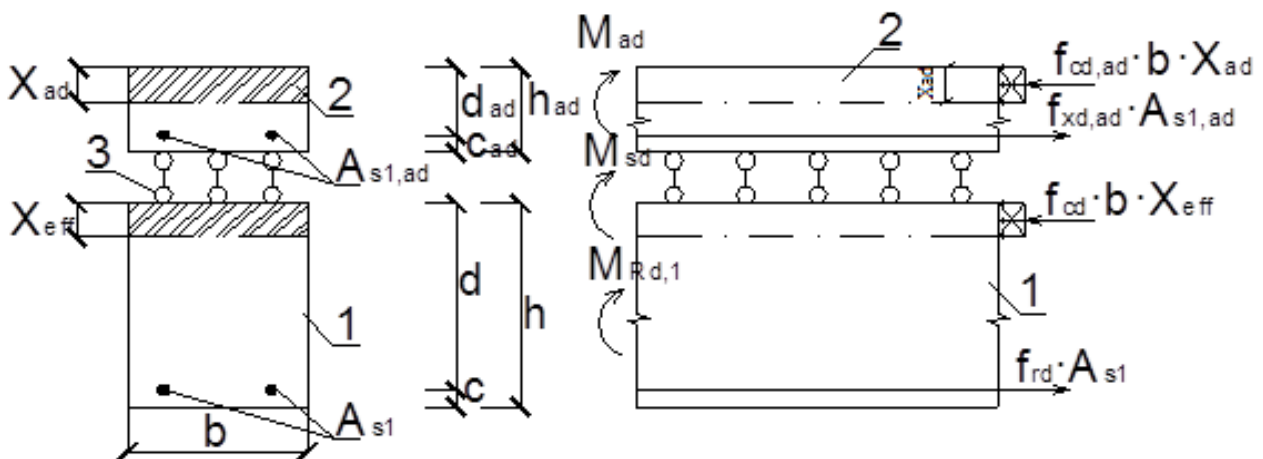
$$M_{ad} = f_{yd,ad} \cdot A_{s1,ad} \cdot (d_{ad} - 0.5 \cdot X_{ad}); \quad (6.8)$$

где  $X_{ad}$  - высота сжатой зоны элемента усиления.

$$X_{ad} = \frac{f_{yd,ad} \cdot A_{s1,ad}}{\alpha \cdot f_{cd,ad} \cdot b}; \quad (6.9)$$

Должно выполняться условие:

$$\xi_{ad} = \frac{X_{ad}}{d_{ad}} \leq \xi_{lim}; \quad (6.10)$$



**Рисунок 6.1 – Расчетная схема усиления наращиванием без сцепления существующего и нового бетона**

Армирование элемента усиления определяется

$$A_{s1,ad} = \frac{M_{ad}}{f_{yd,ad} \cdot \eta_{ad} \cdot d_{ad}}; \quad (6.11)$$

$$\eta_{ad} = 1 - 0.5(X_{ad} / d_{ad}); \quad (6.12)$$

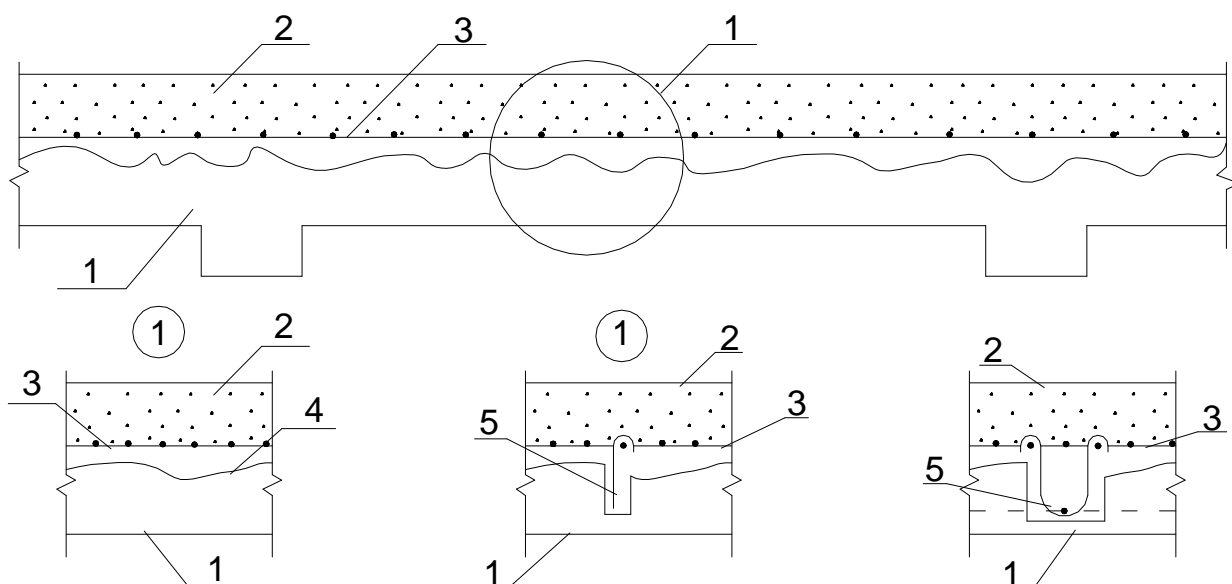
## 6.2 Усиление сжатой зоны изгибаемых элементов наращиванием при наличии сцепления между существующим и новым бетоном

При выполнении работ по усилению (см. рис. 6.2) необходимо соблюдать следующие требования:

- минимальная толщина: по расчету; не менее 40мм.; из условия защиты арматуры от коррозии;

- бетон: тяжелый, класс не ниже С12/15; не ниже класса бетона усиливаемой конструкции; не ниже класса бетона по СНБ 5.03.01 – 02 в зависимости от условий эксплуатации; крупность заполнителя 10..20 (при уплотнении вибрированием) и 5..10 (при нанесении методом торкретирования);

- арматура: класса S240 (при обосновании), S400 и S500; содержание арматуры не менее 0.15%; диаметром не ниже  $\varnothing 5$ ; поперечная арматура с шагом не более  $15\varnothing$ , 500мм,  $3h_{ad}$ ; продольная арматура по расчету и не ниже  $\varnothing 10$ ;



1 – усиливаемая конструкция; 2 – бетон усиления; 3 – арматура усиления;  
4 – контактный шов; 5 – анкер

**Рисунок 6.2 – Усиление наращиванием сечения сверху**

- поверхность контакта подготавливается: очистка от грязи, пыли, пропиток снижающих сцепление (хим. растворы, отжиг, механический способ); создание шероховатости (насечка, открытые пазы с шагом не более 500мм); промывка водой; сушка; увлажнение до полного насыщения за 12 часов до укладки бетона.

Расчет прочности нормального сечения усиленного наращиванием сжатой зоны элемента проводится в предположении совместной работы элемента усиления с конструкцией. При этом, как правило, в расчете принимают предельное состояние с разрушением по растянутой зоне. (см. рис. 6.3).

Возможны две расчетные ситуации:

Расчетная ситуация №1.  $X_{eff} \leq h_{ad}$ ; (усилие в сжатой зоне определяет бетон усиления)

$$f_{yd} \cdot A_{s1} - \alpha \cdot f_{cd,ad} \cdot b \cdot x - f_{yd,ad} \cdot A_{s2,ad} = 0; \quad (6.13)$$

Высота сжатой зоны бетона определяется

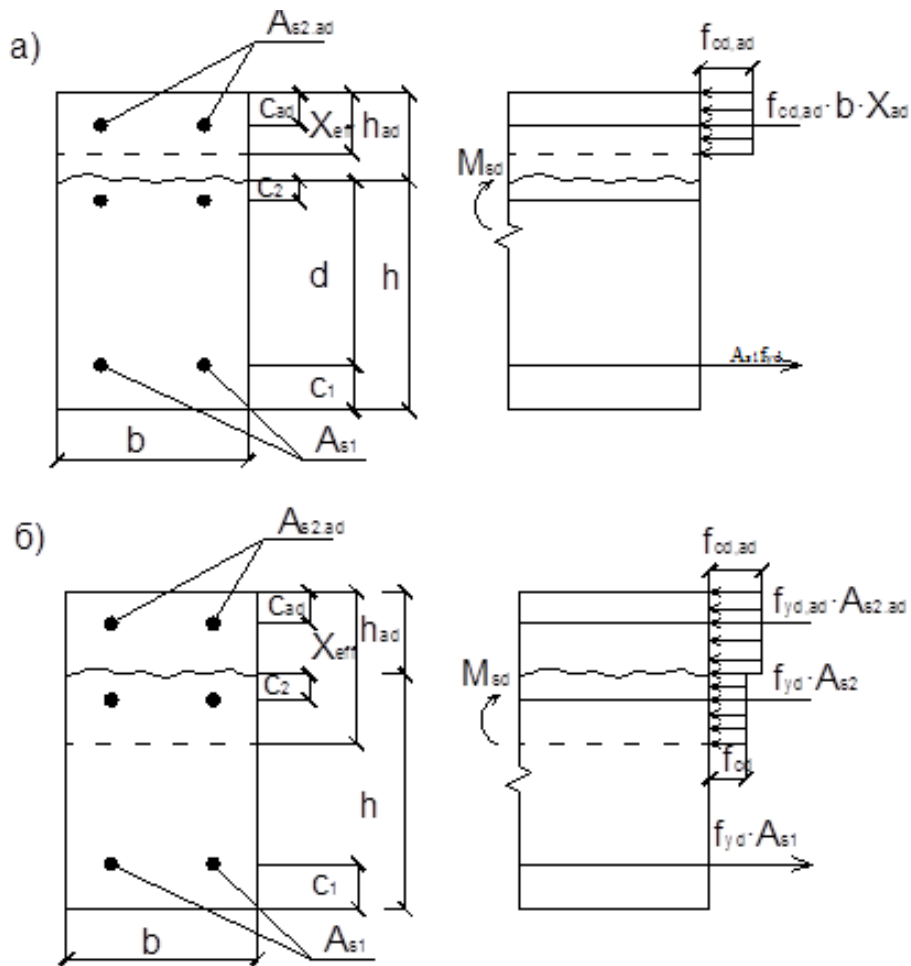
$$X_{eff} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1} - f_{yd,ad} \cdot A_{s2,ad}}{\alpha \cdot f_{cd,ad} \cdot b} \leq h_{ad}; \quad (6.14)$$

Должны выполняться следующие условия:

$\xi \leq \xi_{lim}$  и  $X_{eff} \geq 2C_{ad}$  (при  $X_{eff} < 2C_{ad}$  дополнительная арматура  $A_{s2,ad}$  в расчет не вводится и выполняется новый расчет  $X_{eff}$ ). При  $\xi \geq \xi_{lim}$  дальнейший расчет выполняется при  $X_{eff} = X_{eff,lim}$ .

Проверяется условие:

$$M_{sd} \leq M_{Rd} = \alpha \cdot f_{cd,ad} \cdot b \cdot x_{eff} (d + h_{ad} - 0.5 \cdot X_{eff}) + f_{yd,ad} \cdot A_{s2,ad} \cdot (d + h_{ad} - C_{ad}); \quad (6.15)$$



а) при  $h_{ad} \geq X_{eff}$ ; б) при  $h_{ad} < X_{eff}$ ; (для а и б с  $X_{eff} \leq X_{eff,lim}$ )

**Рисунок 6.3 – Схема усилий в нормальном сечении после наращивания:**

Расчетная схема №2.  $X_{eff} > h_{ad}$  (усилие в сжатой зоне зависит от характеристик обоих бетонов).

$$f_{yd} \cdot A_{s1} - f_{yd,ad} \cdot A_{s2,ad} - f_{yd} \cdot A_{s2} - \alpha \cdot f_{cd,ad} \cdot b \cdot h_{ad} - \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot (X_{eff} - h_{ad}) = 0; \quad (6.16)$$

Высота сжатой зоны бетона определяется:

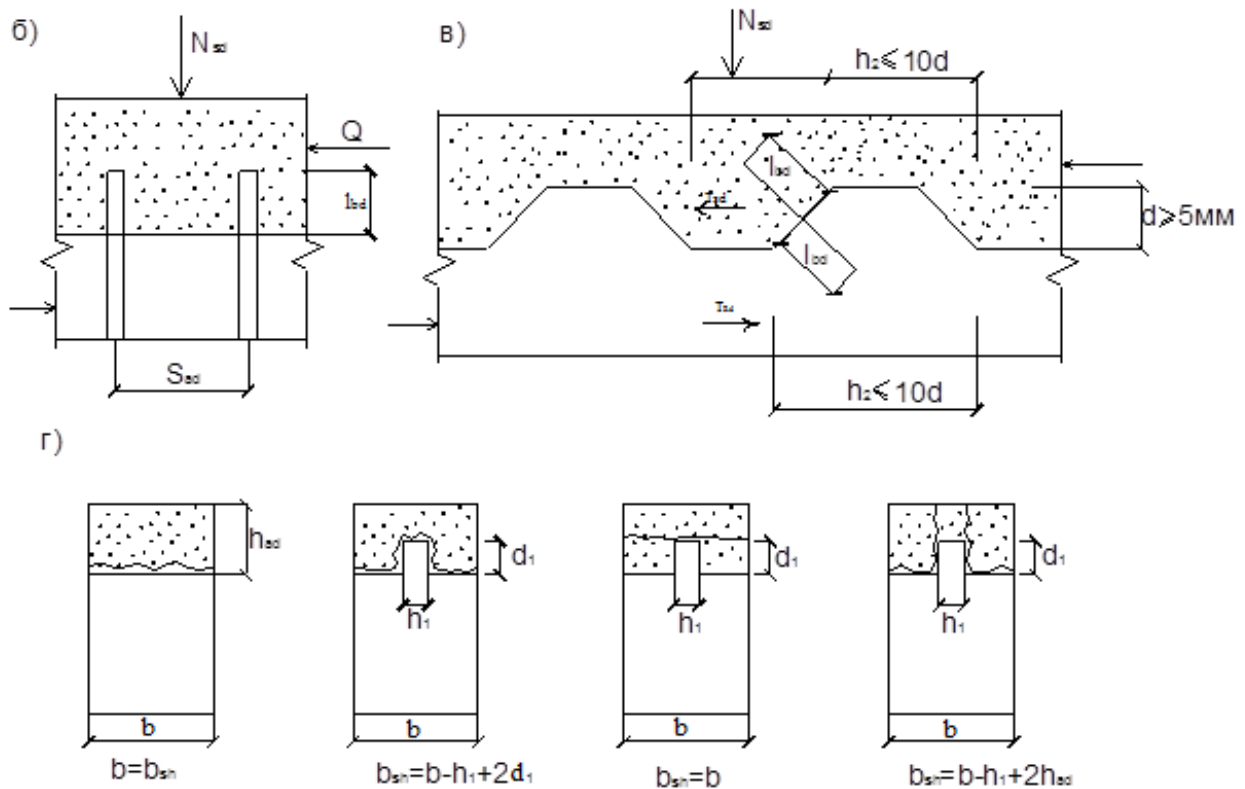
$$X_{eff} - h_{ad} = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1} - f_{yd,ad} \cdot A_{s2,ad} - f_{yd} \cdot A_{s2} - \alpha \cdot f_{cd,ad} \cdot b \cdot h_{ad}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (6.17)$$

Если условие  $\xi = \frac{X_{eff}}{d + h_{ad}} \leq \xi_{lim}$ , проверяется условие:

$$M_{sd} \leq M_{rd} = f_{yd,ad} \cdot A_{s2,ad} \cdot (d + h_{ad} - C_{ad}) + \alpha \cdot f_{cd,ad} \cdot b \cdot h_{ad} \times (d + 0.5 \cdot h_{ad}) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (d - C_2) + \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot [(d - 0.5 \cdot (X_{eff} - h_{ad}))]; \quad (6.18)$$

Поскольку расчетные зависимости приняты при условии обеспечения совместной работы двух бетонов, проверим и обеспечим прочность контактного шва.





(а) – при отсутствии хомутов и шпонок; (б) – при наличии хомутов;  
 (в) – при наличии шпонок; (г) – для расчета  $b_n$  шпонок

**Рисунок 6.4 – Схема усилий при расчете контактного шва**

Таблица 6.1 Значения коэффициентов  $C$  и  $\mu$

Вид поверхности	$C$	$\mu$
1. Шпонки прямоугольные	0.500	0.9
2. Шероховатая – естественная или искусственная (выступы впадины не менее 3 мм на расстоянии менее 40 мм)	0.450	0.7
3. Гладкая: в скользящей форме; после экструдера, после вибрации без дополнительных мероприятий (например – заглаживание)	0.350	0.6
4. Особо гладкая: после стальной; пластиковой опалубки; после спец. мероприятий (железнение, заглаживание, шлифовка)	0.025	0.5

$$\sigma_N = +N_{sd} / A_{sh} \leq 0.6 \cdot f_{cd}; \quad (6.25)$$

$\sigma_N$  - нормальное напряжение сжатия от внешней вертикальной нагрузки (принимается в формуле (6.24) со знаком «плюс» и со знаком «минус» при действии растягивающих напряжений (при этом значение  $C \cdot f_{cd} = 0$ ));

Если условие (6.26) не выполняется, необходимо повысить прочность контакта установкой анкеров или устройством шпонок.

$$T_{sd} \leq T_{Rd,1} = (C \cdot f_{cd} + \mu \cdot \sigma_N) \cdot l_{sh} \cdot b_{sh}; \quad (6.26)$$



Требуемое сопротивление шва сдвигу за счет работы поперечных бетонных шпонок определится из условия (6.22) и принимается как меньшее из условий работы шпонки на срез или смятие.

$$T_{Rd,3} = f_{n,sh} \cdot l_{sh} \cdot b_{sh}; \quad (6.27)$$

где  $f_{n,sh}$  - сопротивление сдвигу бетонной шпонки из условия работы:

- на срез

$$f_{n,sh} = \frac{2 \cdot f_{\alpha d} \cdot l_n \cdot h_1}{b_{sh} \cdot l_{sh}}; \quad (6.28)$$

- на смятие

$$f_{n,sh} = \frac{f_{\alpha d} \cdot b_n \cdot d_1}{b_{sh} \cdot l_{sh}}; \quad (6.29)$$

где  $b_{sh}, h_1, d_1$  - ширина, длина и высота шпонки. (см. рис. 6.4)

Проектирование армированного контакта должно обеспечить ограничение деформаций сдвига (б); проверяются условия:

- для гладких контактов

$$\delta \leq 0.16 \cdot \sqrt[4]{\emptyset}; \quad (6.30)$$

- для шероховатых контактов

$$\delta \leq 0.08 \cdot \sqrt[4]{\emptyset}; \quad (6.31)$$

где  $\emptyset$  - диаметр арматуры пересекающей контакт.

Количество поперечной арматуры пересекающей контактный шов определяется из условия (6.22)

$$T_{Rd,2} = f_{s,sh} \cdot l_{sh} \cdot b_{sh}; \quad (6.32)$$

где  $f_{s,sh}$  - сопротивление сдвигу за счет работы поперечной арматуры

$$f_{s,sh} = 0.65 \cdot \sqrt[3]{f_{\alpha d}^2 \cdot E_s \cdot \mu_{sw}} \leq 0.7 \cdot \mu_{sw} \cdot f_{yd}; \quad (6.33)$$

$$\mu_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_{sh} \cdot S_{ad}} \geq 0.0015; \quad (6.34)$$

### 6.3 Усиление наклонного сечения

Примеры конструктивного решения усиления зоны среза приведены на рис 6.5. Выбор и реализация принятого решения осуществляется с учетом следующих требований.

Поперечное сечение дополнительной поперечной арматуры определяется расчетом и принимается в виде стержней диаметром 10...16 мм или в виде стальных полос толщиной 2..4 мм. При этом следует обеспечить условие

$$q_{sw,ad} = \frac{A_{sw,ad} \cdot f_{yd,ad}}{S_{ad}} \geq q_{sw} \quad (6.35)$$

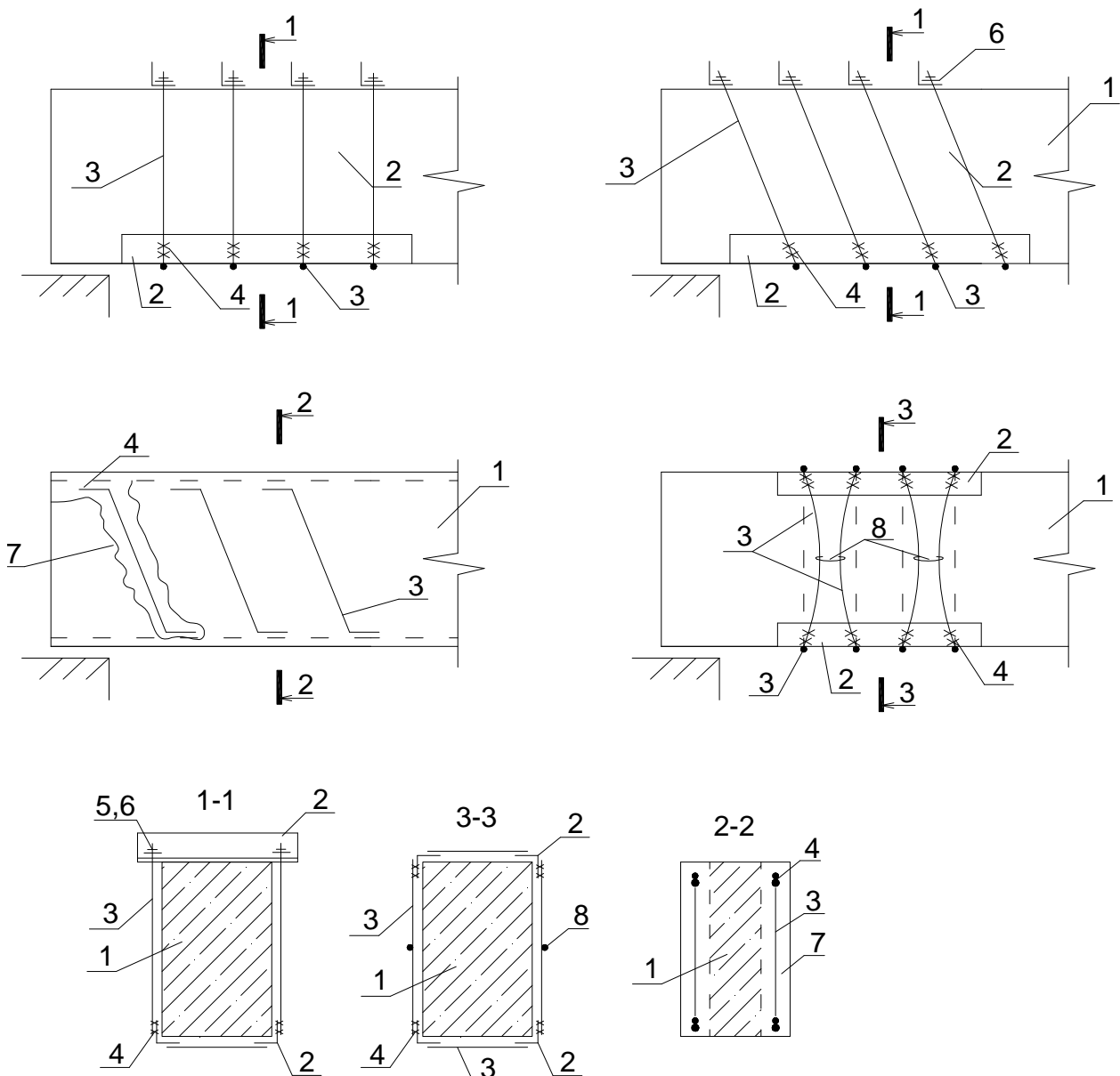
Следует учесть условия реализации (доступность), трудоемкость (возможность снижения трудоемкости, например, при сборке системы на земле), квалификацию исполнителя.

При вклеивании арматуры в пазы с использованием полимерраствора следует обеспечить работу стержней, создав условия их анкеровки по обе стороны от наклонной трещины

$$l_{bd} \geq \frac{A_{sw.ad} \cdot f_{ywd.ad}}{(b' + 2h') \cdot f_{bd}} \quad (6.36)$$

где  $(b' + 2h')$  - размеры углубления в бетоне (паза)

$f_{bd}$  - предельное напряжение сцеплению по контакту бетона и арматуры (см. п.11.2.23 [13]).



1 – усиливаемая конструкция, 2 – уголок, 3 - хомуты усиления, 4 – сварка, 5 – шайба с гайкой, 6 – косая гайка, 7 – борозда, 8 – стяжное устройство или скоба

**Рисунок 6.5 – Усиление наклонного сечения**

В других случаях анкеровка осуществляется с помощью гаек или сварки.

Принципиально важным является механизм включения арматуры усиления в работу. Если при использовании рубашки (обоймы) это достигается совместной работой бетонов, то для свободной внешней арматуры требуется дополнительный механизм (например – скобы, натяжные скобы, муфты для высоких балок).

Учитывая трудоемкость устройства рубашки (обоймы) их рекомендуется применять в том случае, если не обеспечивается прочность наклонного сечения сжатой полосы (см. п.7.2.2.11 [13]).

$$V_{sd} > V_{Rd,max} = 0,3 \cdot \eta_{w1} \cdot \eta_{c1} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (6.37)$$

Обязательным условием при расчете является учет имеющихся повреждений (наклонных трещин), см. таблицу 6.2.

Таблица 6.2 Значение коэффициентов условия работы  $\gamma_{c.ad}$  и  $\gamma_{sw.ad}$

№ п.п	Условия работы	$\gamma_{c.ad}$	$\gamma_{sw.ad}$
1.	Наклонных трещин нет	0.85	0.85
2.	Наклонные трещины есть:		
	- поперечная арматура преднапряжена	0.9	0.9
	- преднапряжение отсутствует	0.7	0.7
Величина преднапряжена в пределах 70...100 Мпа.			

Расчет усиления железобетонных конструкций на действие поперечной силы производится в следующей последовательности (см. рис. 6.6).

Вариант №1. Усиление с устройством обоймы (см. рис 6.6 а).

Расчет производится использованием приведенных характеристик бетона, т.е. к расчету принимаются однородное сечение с размерами  $b_{red} \times h_{red}$ .

$$f_{cd,red} = \frac{f_{cd} \cdot b \cdot d + f_{c.ad} \cdot f_{cd.ad} \cdot [b_{ad} \cdot d + (b + b_{ad}) \cdot 0.5 \cdot h_{ad}]}{(b + b_{ad}) \cdot (d + 0.5 \cdot h_{ad})} \quad (6.38)$$

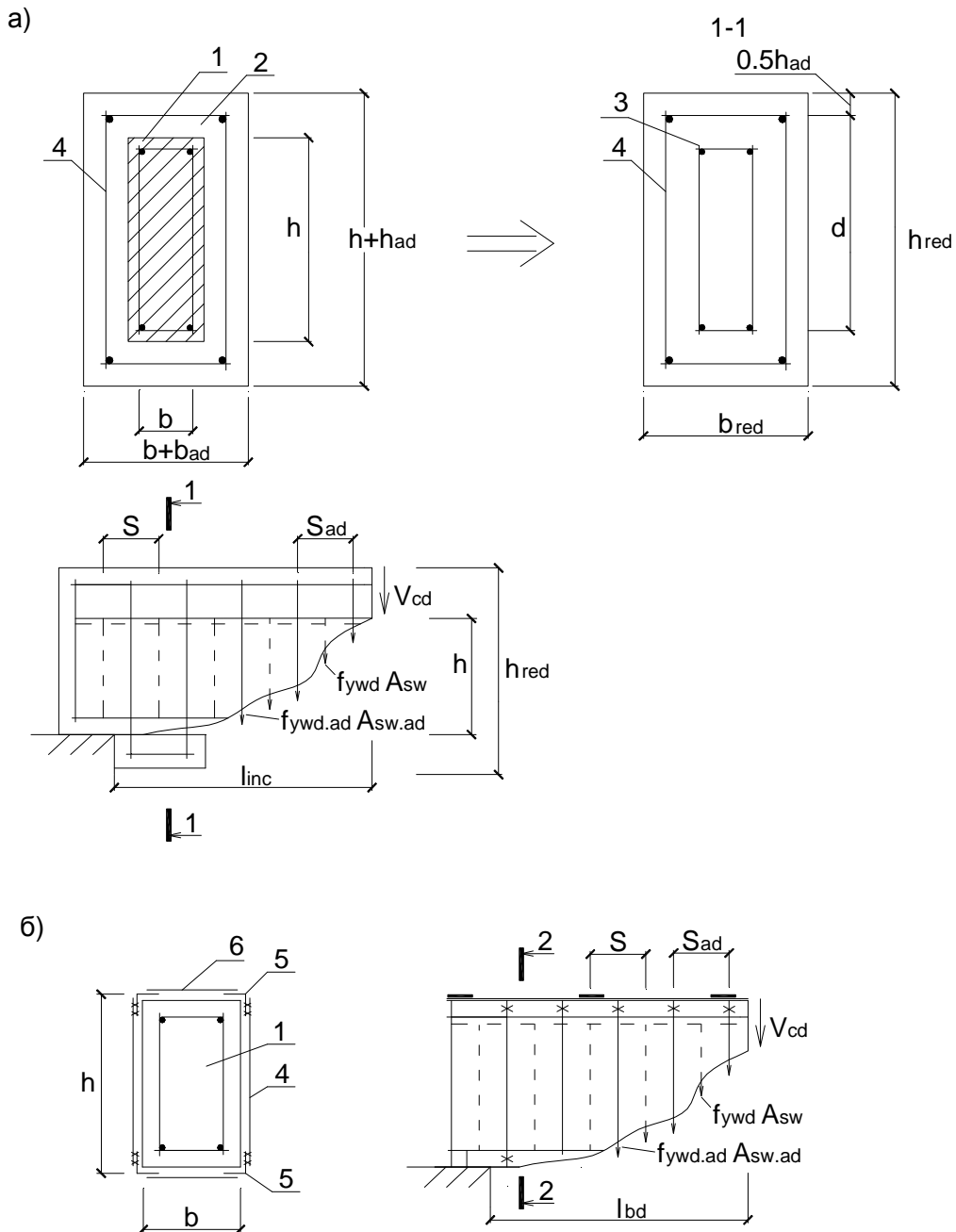
$$f_{ctd,red} = \frac{f_{ctd} \cdot b \cdot d + f_{c.ad} \cdot f_{ctd.ad} \cdot [b_{ad} \cdot d + (b + b_{ad}) \cdot 0.5 \cdot h_{ad}]}{(b + b_{ad}) \cdot (d + 0.5 \cdot h_{ad})} \quad (6.39)$$

$$E_{c,red} = \frac{E_{cm} \cdot b \cdot d + E_{cm.ad} \cdot f_{ctd.ad} \cdot [b_{ad} \cdot d + (b + b_{ad}) \cdot 0.5 \cdot h_{ad}]}{(b + b_{ad}) \cdot (d + 0.5 \cdot h_{ad})} \quad (6.40)$$

Усиление на единицу длины элемента в хомутах существующих ( $v_{sw}$ ) и усиления ( $v_{sw.ad}$ ) определится

$$v_{sw} = \frac{f_{ywd} \cdot A_{sw}}{S} \quad (6.41)$$

$$v_{sw.ad} = \frac{f_{ywd} \cdot A_{sw.ad}}{S_{ad}} \geq v_{sw} \quad (6.42)$$



а) при усилении обоймой; б) при усилении внешней арматурой  
**Рисунок 6.6 – Схема действующих усилий при усилении наклонного сечения**

Усилие, воспринимаемое сжатым бетоном над вершиной наклонной трещины, определится

$$V_{cd} = \frac{h_{c2} \cdot f_{ct.d.ad} \cdot (1 + \eta_f + \eta_N) \cdot (b + b_{ad}) \cdot (d + 0.5 \cdot h_{ad})^2}{l_{inc}} = \frac{M_{cd}}{l_{inc}} \quad (6.43)$$

Длина проекции наиболее опасного сечения  $l_{inc}$  принимается не более  $2 \cdot (d + 0.5 \cdot h_{ad})$  и не менее  $(d + 0.5 \cdot h_{ad})$ . Значение  $l_{inc.cr}$  определится: при отсутствии наклонных трещин

$$l_{inc.cr} = \sqrt{M_{cd} / (q_{sw} + q_{sw.ad})} \quad (6.44)$$

при наличии наклонных трещин

$$l_{inc.cr} = \sqrt{M_{cd} / q_{sw}} \quad (6.45)$$

Усилие, воспринимаемое поперечной арматурой, определим из условия

$$V_{sw} = (q_{sw} + q_{sw.ad}) \cdot l_{inc.cr} \quad (6.46)$$

Проверяется условие

$$V_{sd} \leq V_{Rd} = V_{cd} + V_{sw} \quad (6.47)$$

Вариант №2. Усиление установкой внешней арматуры (см. рис. 6.6 б).

Должно выполняться условие

$$V_{sd} \leq V_{Rd} = V_{cd} + V_{sw} + V_{sw.ad} \quad (6.48)$$

Усилие, воспринимаемое бетоном сжатой зоны над вершиной наклонной трещины, определится

$$V_{cd} = \frac{\eta_{c2} \cdot f_{cd} \cdot (1 + \eta_f + \eta_N) \cdot b \cdot d}{l_{inc}} \quad (6.49)$$

Проекция наклонной трещины принимается: не более проекции фактической наклонной трещины;  $2d$ ; расстояния до сосредоточенной силы и не менее  $d$ .

Усилие в хомутах на единицу длины элемента определится

$$v_{sw} = \frac{f_{ywd} \cdot A_{sw}}{S} \quad (6.50)$$

$$v_{sw.ad} = \frac{f_{ywd.ad} \cdot A_{sw.ad}}{S_{ad}} \quad (6.51)$$

Усилие, воспринимаемое хомутами, определим из условия

$$V_{sw} = v_{sw} \cdot l_{inc.cr} \quad (6.52)$$

$$V_{sw.ad} = v_{sw.ad} \cdot l_{inc.cr} \quad (6.53)$$

где  $l_{inc.cr}$  - длина проекции наиболее опасного сечения.

$$l_{inc.cr} = \sqrt{\frac{\eta_{c2} \cdot f_{cd} \cdot (1 + \eta_f + \eta_N) \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2}{V_{sw}}} \leq 2d \quad (6.54)$$

Все элементы усиления из металла должны быть защищены лакокрасочным покрытием от коррозии.

Проверяется прочность усиленного сечения по сжатой полосе:

- по варианту №1.

$$V_{sd} \leq V_{Rd,max} = 0.3 \cdot \eta_{w1} \cdot \eta_{c1} \cdot f_{cd,red} \cdot (b + b_{ad}) \cdot (d + 0.5h_{ad}) \quad (6.55)$$

где  $\eta_{c1} = 1 - 0.01 \cdot f_{cd,red}$ ;

$$\eta_{w1} = 1 + 5\alpha \cdot \rho_{sw};$$

$$\alpha = E_s / E_{cm,red};$$

$$\rho_{sw} = (A_{sw} / S + A_{sw.ad} / S_{ad}) / (b + b_{ad})$$

- по варианту №2.

$$V_{sd} \leq V_{Rd\max} = 0.3 \cdot \eta_{w1} \cdot \eta_{c1} \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d \quad (6.56)$$

где  $\eta_{w1}, \eta_{c1}$  согласно п.7.2.2.11[13].

### Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях выполняется усиление наращиванием без обеспечения сцепления между новым и старым бетоном.
2. Как можно обеспечить совместную работу бетона усиления с существующей конструкцией.
3. Обоснуйте возможность усиления конструкций наращиванием сечения.
4. Обоснуйте выбор способа усиления наращиванием, рубашкой, обоймой.
5. Возможно ли усиление нормального и наклонного сечения изгибаемого элемента одновременно.
6. Какие варианты усиления наклонного сечения используют на практике.
7. Как учитывать дефекты и повреждения при усилении наклонного сечения.
8. Обоснуйте необходимость включения в работу дополнительной поперечной арматуры.
9. Перечислите конструктивные требования, выполнение которых обязательно при усилении нормального сечения.
10. Назовите конструктивные требования, выполнение которых обязательно при усилении наклонного сечения.

## ТЕМА № 7. УСИЛЕНИЕ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

7.1 Усиление центрально и внецентренно сжатых железобетонных конструкций

7.2 Усиление сжатых элементов при устройстве железобетонной обоймы. Пример расчета №7.1 (с. 74 – 91 [33])

7.3 Усиление сжатых элементов при устройстве металлической обоймы. Пример расчета №7.2.

### 7.1 Усиление центрально и внецентренно сжатых железобетонных конструкций.

Сжатые элементы (колонны, верхние пояса и раскосы ферм и т.д.) могут быть усилены как наращиванием сечения так и посредством разгрузки. Наращивание сечения может выполняться с одной, двух, трех или четырех сторон из железобетона (рубашка, обойма) или из металла. Усиление может быть выполнено как на всю высоту элемента, так и на одном участке, имеющем повреждение. Принципиально важным для работы усиления является механизм включения усиления в работу. Рассматривают следующие варианты: за счет поперечных деформаций бетонного сечения, обеспечения связи по контактной плоскости, соединения с существующей рабочей арматурой, создание предварительного напряжения в элементах усиления и как следствие обжатие сечения или создание усилий распора, непосредственная передача нагрузки на элементы усиления и т.д. Вопросы обеспечения совместной работы (подготовка поверхности), включения в работу элементов усиления были рассмотрены ранее. В данной теме остановимся более подробно на устройстве обоймы из железобетона и металла.

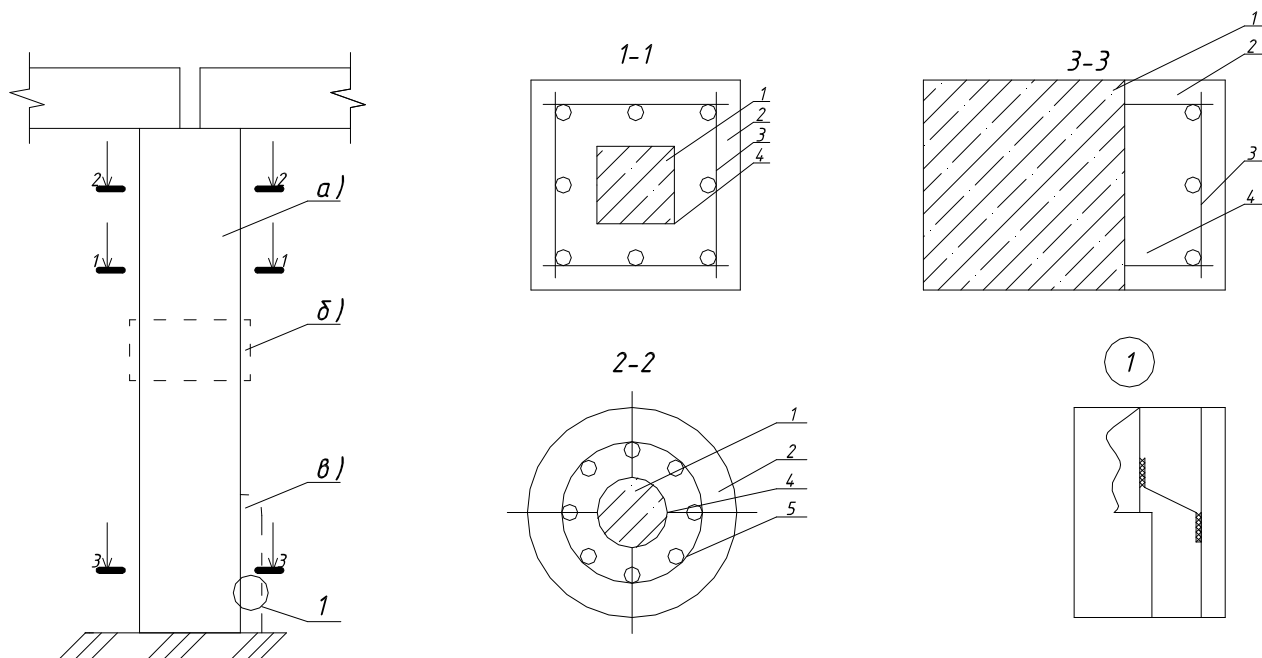
### 7.2 Усиление сжатых элементов при устройстве железобетонной обоймы

Железобетонные обоймы (см.рис 7.1) выполняют с учетом следующих особенностей:

- Наиболее рациональны для колонн с  $\lambda \leq 14$ , работающих с малым эксцентриситетом приложения нагрузки;
- Должна обеспечиваться совместная работа обоймы с усиливаемой конструкцией (подготовка поверхности, соединение с существующей арматурой, нанесение полимерных клеевых составов и т. д).
- Механизм «включения» усиления в работу равно как и передача нагрузки на обойму, условия ее опирания необходимо учитывать при выполнении расчета и конструирования;
- Толщина стенки обоймы определяется расчетом, условиями защиты арматуры усиления от коррозии (среда эксплуатации), технологией устройства (вид, подвижность бетонной смеси, способ уплотнения, метод торкретирования), но не менее 40 мм. ;
- Применяемая арматура: класса S240, S400, S500 диаметром не менее  $\varnothing 16$  (сжатая) и  $\varnothing 12$  (растянутая) в качестве продольной арматуры с содержанием в сжатой зоне не менее  $\rho_{\min} = 0.05\%$  .
- Поперечная арматура каркаса прижимается не менее 5мм в вязаных и не менее 8мм в сварных каркасах с шагом не более  $S_{sw.ad} \leq 15\varnothing_s$ ,  $S_{sw.ad} \leq 3\delta$  и  $S_{sw.ad} \leq 300\text{мм}$  ( $\delta$ –толщина стенки обоймы);
- Поперечную арматуру спиралью (для круглых сечений) выполняют из арматуры диаметром не менее 5мм охватывающей всю продольную арматуру с шагом

$S_{sw.ad} \geq 40 \text{ мм}, S_{sw.ad} \leq 100 \text{ мм}, S_{sw.ad} \leq 0,2D$  (D- диаметр ядра сечения охваченного спиралью);

- Наиболее эффективны обоймы в которых есть связь основной и дополнительной арматуры: приварка с помощью соединительных коротышей из арматуры ( $\varnothing 12 - \varnothing 22$ ) S240 (S400) с шагом не менее 20 больших диаметров и не более 500 мм;



1 – усиливаемая конструкция; 2 – бетон обоймы; 3 – арматурные каркасы;  
4 – подготовленная поверхность; 5 – спиральная арматура; 6 - отгиб

**Рисунок 7.1 – Усиление железобетонной колонны обоймой на всю высоту (а), на участке (б), при одностороннем наращивании сечения (в)**

- При усилении локальных участков длина обоймы продлевается за пределы усиливаемого участка на длину ( $\Delta l$ ) с каждой стороны не менее  $l_{bd}$  и 500 мм;

- Передача вертикального усилия с элементов усиления на основания должна происходить через опорных уголок ( $\angle 75 \times 5$  или  $\angle 100 \times 5$ ), исключая смятие или продавливание опорного участка;

- Все дефекты, повреждения, условия работы элементов усиления должны быть учтены соответствующими коэффициентами. Например. Коэффициент условия работы обоймы из железобетона в зависимости от передачи нагрузки принимается:  $\gamma_{c.ad} = 1$  (на обойму передается нагрузка и она имеет опору);  $\gamma_{c.ad} = 0.7$  (на обойму передается нагрузка, но опора отсутствует);  $\gamma_{c.ad} = 0.35$  (на обойму не передается нагрузка, опора отсутствует или есть).

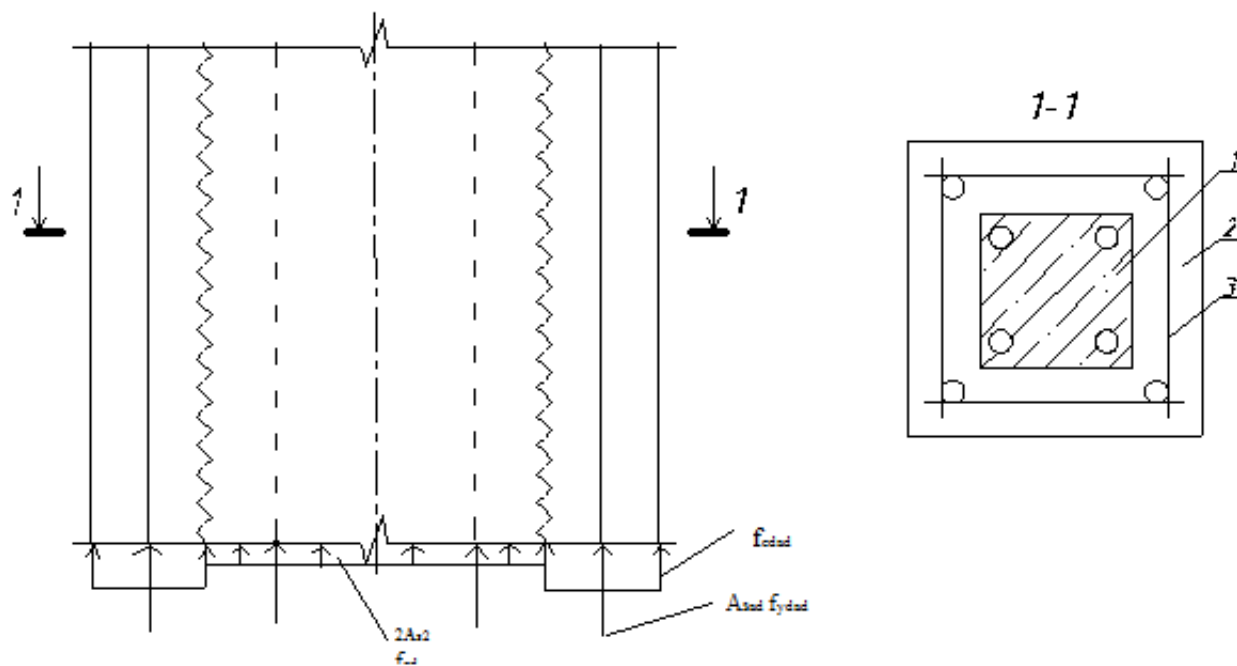
Расчетная схема усилий при усилении железобетонной обоймой изгибаемого элемента приведена на рис.7.2,

Алгоритм расчета усиления конструкции имеет следующий порядок.

1. Определяется несущая способность сжатого элемента с учетом фактических характеристик, наличия дефектов и повреждений.

2. Анализируется техническое состояние конструкции, выбирается конструктивное решение усиления (наращивание, рубашка, обойма) и способ включения усиления в работу.





1 – усиливаемый элемент; 2 – бетон обоймы; 3 – арматура обоймы  
**Рисунок 7.2 – К расчету усиления обоймой из железобетона**

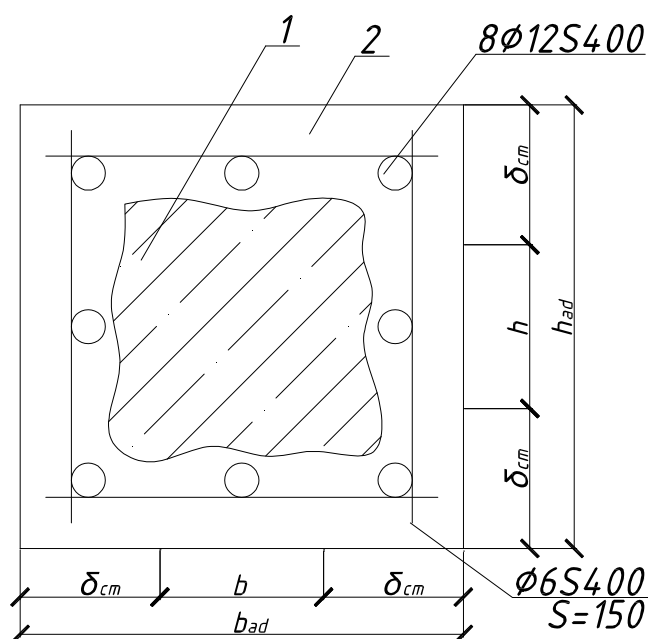
3. Реализуют принятое конструктивное решения прижимая класс и вид бетона, армирование, размеры руководствуясь минимально рекомендуемыми параметрами (класс бетона не ниже  $C_{15}^{12}$ , диаметр рабочей арматуры в диапазоне  $\varnothing 12 \dots \varnothing 16$  мм, размер стенки обоймы—из условия защиты арматуры от коррозии и не менее 40мм, выбирают технологию выполнения работ—торкретирование, обычная укладка бетонной смеси и т.д.

4. Выполняют проверочный расчет усиленной конструкции. Превышение несущей способности по сравнению с требуемой должно быть не более 10%. В том случае если превышение больше рекомендуется изменить параметры системы усиления (класс бетона, или арматуры ,диаметр, размеры и т.д.) но не ниже минимально допустимых.

5. Окончательное конструирование системы усиления. Уточняется весь комплекс работ (подготовка поверхности усиливаемой конструкции, крупность заполнителя бетона, способ установки арматуры—сварная, вязанная, условия передачи усилия на обойму и с обоймы на основные, мероприятия по обеспечению долговечности усиления и т.д).

**Пример расчета № 7.1.** Усилие центрально сжатой колонны железобетонной обоймой.

Исходные данные: размеры поперечного сечения колонны 300x300мм, высота этажа 3,6м, бетон тяжелый С12/15 ( $f_{cd} = 8.0$  МПа), армирование –4  $\varnothing 14$ S400 ( $A_{s2} = 616$  мм<sup>2</sup>,  $f_{yd} = 365$  МПа), после реконструкции на колонну будет передаваться усилие  $N_{sd} = 1550$  кН.



1 – усиливаемая колонна; 2 – бетон усиления

**Рисунок 7.3 – К расчету усиления обоймы из железобетона**

1. Определим несущую способность колонны из условия

$$N_{Rd} = \varphi(A_c \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd}) = 0.672(300^2 \cdot 8 + 616 \cdot 365) = 634.93 \cdot 10^3 \text{ H} = 634.93 \text{ kH}, \text{ где}$$

$$\varphi = 1.14 \left(1 - \frac{2 \cdot e_a}{h} - 0.02 \cdot \frac{l_0}{h}\right) = 1.14 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 20}{300} - 0.02 \cdot \frac{3600}{300}\right) = 0.672 - \text{коэффициент} \quad \text{про-}$$

дольного изгиба учитываем т.к.  $\lambda = \frac{l_0}{h} = \frac{3.6}{0.3} = 12 > 8$ .

Величина случайного эксцентриситета приложения нагрузки принимается большей из двух значений  $l_a = 20 \text{ мм}$ ,  $l_a = \frac{0.5 \cdot l_0}{200} = \frac{0.5 \cdot 3600}{200} = 9 \text{ мм}$ .

Т.к.  $N_{Rd} = 634.93 \text{ kH} < N_{sd} = 1550 \text{ kH}$ . требуется выполнить усиление колонны.

2. Усиление колонны выполняем устраивая железобетонную обойму. Задаемся толщиной стенки обоймы  $\delta_{ct} = 60 \text{ мм} > 40 \text{ мм}$ .

$$l_{bd} = h_{ad} = 300 + 2 \cdot 60 = 420 \text{ мм}.$$

3. Армирование обоймы определим в первом приближении из условия

$$A_{s,ad} = 0.009(b_{ad} \cdot h_{ad} - b \cdot h) = 0.009(420^2 - 300^2) = 780 \text{ мм}^2$$

Принимаем  $8\phi 12 \text{ S } 400$  с  $A_{sad} = 905 \text{ мм}^2$ . Бетон усиления класса С12/15 ( $f_{cd} = 8 \text{ МПа}$ ).

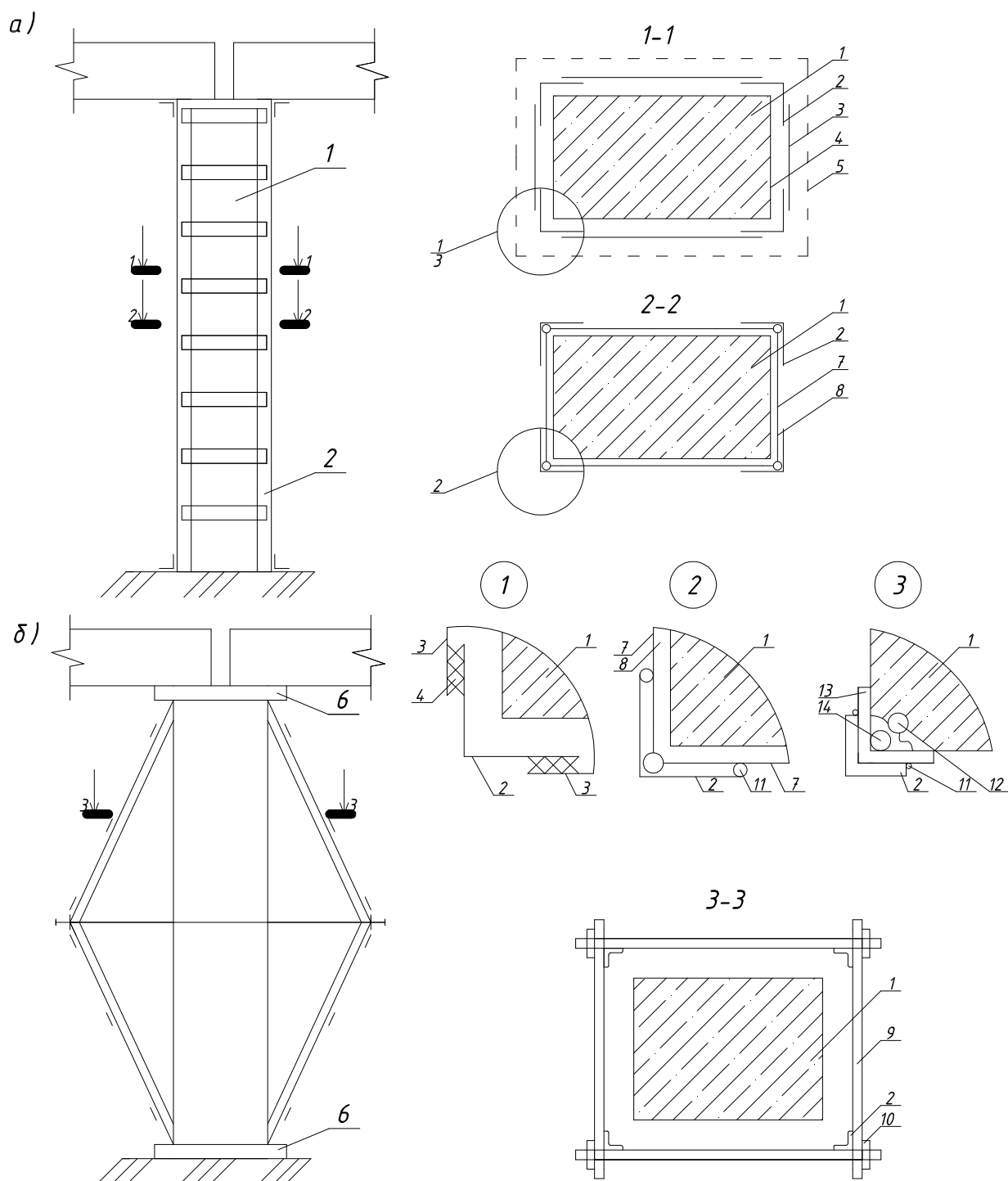
4. Определим несущую способность колонны после усиления.

$$N_{Rd} = \varphi(A_c \cdot f_{cd} + (A_{s2} + A_{sad}) \cdot f_{yd}) = 0.86[420^2 \cdot 8 + (616 + 905) \cdot 365] = \\ = 1691.07 \cdot 10^3 \text{ H} = 1691.07 \text{ kH}, \text{ где}$$

$$\varphi = 1.14 \left(1 - \frac{2 \cdot e_a}{h} - 0.02 \cdot \frac{l_0}{h}\right) = 1.14 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 20}{420} - 0.02 \cdot \frac{3600}{420}\right) = 0.86 -$$

коэффициент продольного изгиба учитываем т.к.  $\lambda = \frac{l_0}{h} = \frac{3.6}{0.42} = 8.57 > 8$ . Прочность

сечения обеспечена т.к.  $N_{sd} = 1550 \text{ kH} < N_{sd} = 1691.07 \text{ kH} (9.1\%)$ .



а) с напряженными планками; б) с напряженными распорками  
(1-1 и 2-2 – варианты конструктивного решения)

1 – усиливаемая конструкция; 2 – уголок; 3 – пластина – планка; 4 – цементно-песчаный (полимерный) раствор; 5 – штукатурка по сетке; 6 – опорные уголки; 7 – сплошной лист толщиной 2..3 мм; 8 – эпоксидный (полимерный) клей; 9 – распорка из уголков и планок; 10 – натяжной болт; 11 – сварка; 12 - арматура колонны; 13 – пластины; 14 – коротыши длиной 100 мм; 15 – участок оголения арматуры

**Рисунок 7.4 – Усиление обоймой из металла**

5. Выполняем конструирование элементов усиления (подготовка поверхности колонны, опорный и верхний участок усиления и т.д).

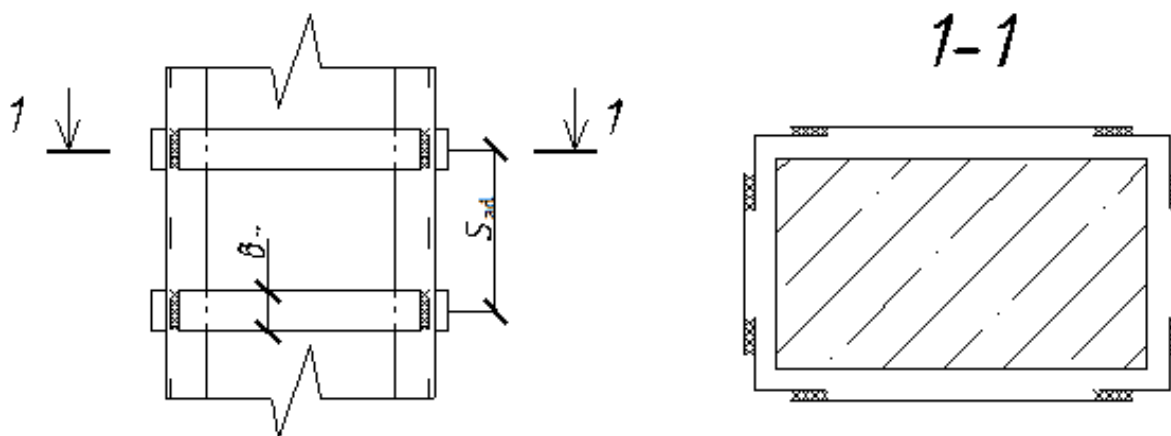
### 7.3 Усиление сжатого элемента при устройстве металлической обоймы

Устройство обоймы из металла производится при невозможности развития сечения усиливаемой конструкции или сжатых сроках производства работ (см.рис.7.4). Рекомендуется предусматривать выполнение следующих мероприятий и требований:

- Продольные уголки принимают равнобокие, по расчету и не менее 50x50x5мм;
- Планки принимают по расчету и не менее  $b=40\text{мм}$ ,  $t=4\text{мм}$ ;
- При расчете проверяется усиленное сечение и сама металлическая составляющая (как сквозная металлическая ферма);
- Эффективность работы обоймы зависит от механизма включения в работу (плотный контакт с поверхностью бетона, непосредственная передача усилия на уголки). С целью плотного прилегания уголков поверхность подготавливается (при необходимости шпательюется), прижатие уголков производится на слой свежего раствора. Прижатие уголков выполняют с помощью струбцин или термическим способом (нагрев приваренных одной стороны планок газовой горелкой до  $t=100\dots 120\text{ C}$ ). Включение уголков в работу выполняют как приваркой через коротыши к продольной арматуре, так и их предварительное напряжение с передачей распора на опору и вышележащую конструкцию.

Порядок расчета усиления сжатого элемента обоймой из металла.

1. Определяется несущая способность сжатого элемента с учетом фактических характеристик материалов, наличия дефектов и повреждений.
2. Выбирают конструктивное решение обоймы, принимают и проверяют принятое сечение (см. рис 7.5).



**Рисунок 7.5 – К расчету усиления обоймой из металла**

2.1 Вертикальные уголки принимают равнобокими не менее 50x50x4мм;

2.2 Определяют шаг соединительных планок

$$S_{ad} = \frac{2 \cdot A_{sw} \cdot (b + h) \cdot 100}{\mu \cdot b \cdot h} \leq 40 \cdot i, \leq b(h), \leq 500\text{мм}, \quad (7.1)$$

где  $\mu = 1\%$ ,  $i$ —радиус инерции уголка,

$A_{s,w}$  – площадь сечения планки (принимают сечения не менее 60x4мм). Ширина планки должна быть  $b_{пл} \leq 0,75 \cdot b_{уголка}$ .

2.3 Проверяют принятое сечение планки

$$W_{пл} = \frac{M_{sd} \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c} \leq \frac{t_{пл} \cdot b_{пл}^2}{6} \quad (7.2)$$

где  $\gamma_n, \gamma_c$  – коэффициент по назначению объекта, условия работы.

$M_{sd}$  – изгибающий момент воспринимаемый планкой.

$$M_{sd} = \frac{V_{sd} \cdot S_{ad}}{2} = \frac{0.5 \cdot V_{fic} \cdot S_{ad}}{2}, \quad (7.3)$$

где  $V_{fic} = 0.2 \cdot A_{sad}$  – фиктивное значение поперечной силы  
 $A_{sad}$  – площадь сечения одного уголка.

2.4. Проверяют прочность (достаточность) углового сварного шва крепления планки к уголку.

$$\sigma_{zn} = \sqrt{\tau^2 + \sigma^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_{wf} \quad (7.4)$$

где  $\tau$  – касательные напряжения среза

$$\tau = \frac{F}{k_f \cdot \beta_f \cdot b_{nl}}, \beta_f = 0.7; k_f = 4_{мм} \quad (7.5)$$

F-усилие среза определится

$$F = \frac{V_{fic} \cdot b_1}{S_{ad}} = \frac{V_{fic} \cdot (b + 2 \cdot z)}{S_{ad}}, \quad (7.6)$$

При b-размер усиливаемого элемента

z- расстояние от ц.т. уголка до грани пера.

Нормальные напряжения ( $\sigma$ ) определяются

$$\sigma = \frac{M_{sd}}{W_f} = \frac{M_{sd}}{[(\beta_f \cdot k_f \cdot b_{nl}^2) / 6]}, \quad (7.7)$$

$W_f$  – момент сопротивления сварного шва.

2.5. Конструирование системы усиления: подготовка поверхности бетона, передача нагрузки на усиление, условия опирания обоймы, защита металла от коррозии и т.д.

**Пример расчета № 7.2.** Усиление центрально сжатой колонны металлической обоймой.

Исходные данные: размеры поперечного сечения колонны 300x300мм, высота этажа 3.6, бетон тяжелый класса С12/15 ( $f_{cd} = 8МПа$ ), армирование -4Ø14S400 ( $A_{s2} = 616мм^2$ ,  $f_{yd} = 365МПа$ ). После реконструкции на колонну будет действовать усилие  $N_{sd} = 1000кН$ .

1. Определим несущую способность колонны (см. пример 7.1-  $N_{Rd} = 634.93кН$ .)

Т.к  $N_{sd} = 1000кН > 634.93кН$  требуется усиление колонны.

2. Проектируем усиление из металлической обоймы. Принимаем вертикальные стойки из уголка 4\_50x50x4 по ГОСТ 8509

$A_{sad} = 4 \cdot 389 = 1559мм^2$ ,  $y_0 = 13.8мм$ ,  $i = 15.4мм$ ,  $R_{yd} = 440МПа$ , а поперечные планки из полосовой стали – t=5мм, b=60мм > 0,75b<sub>yz</sub> = 0,75 · 50 = 37,5мм ( $f_{yd} = 159МПа$ ).

3. Определим несущую способность усиленной колонны

$$N_{Rd} = \varphi(A_c \cdot f_{ywd} + A_{s2} \cdot f_{yd} + A_{sad} \cdot f_{yd.ad}) = 0.672 \cdot [300^2 \cdot 8 + 616 \cdot 365 + 1559 \cdot 440] =$$

$$= 1095.89 \cdot 10^3 Н = 1095.89кН$$

т.к.  $N_{sd} = 1000кН < N_{Rd.ad} = 1095.89кН (+9.6\%)$ . несущая способность усиленной колонны обеспечена.

4. Проверим прочность элементов металлической обоймы

$$т.к. S = \frac{2 \cdot A_{swad} (b + h) \cdot 100}{\mu \cdot h \cdot b} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 60(300 + 300) \cdot 100}{1 \cdot 300 \cdot 300} = 320мм.$$

Шаг планок д.б. не более т.к.  $40 \cdot i = 40 \cdot 15.4 = 616мм$  и не более b(h)=300мм.

Принимаем  $S=300\text{мм}$ . Условная поперечная сила для элемента из стали С38/23  
 $V_{fic} = 0.20 \cdot A_{s,ad} = 0.20 \cdot 389 = 0.78\text{kH}$ .

Усилие среза планки определится

$$F = \frac{V_{fic} \cdot b_1}{S_{ad}} = \frac{780 \cdot (300 + 2 \cdot 34.6)}{300} = 0.96\text{kH}.$$

$$M = \frac{V_{sd} \cdot S}{2} = \frac{0.5 \cdot V_{fic} \cdot S}{2} = \frac{0.5 \cdot 780 \cdot 300}{2} = 58500\text{H} \cdot \text{мм} = 0.06\text{kH} \cdot \text{м}.$$

$$W_{nl} = \frac{M_{sd} \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{60000 \cdot 0.95}{2.35 \cdot 1} = 242.6\text{мм}^3 < \frac{t \cdot b_{nl}^2}{6} = \frac{5 \cdot 60^2}{6} = 3000\text{мм}^3$$

Принятое сечение планки достаточно.

5. Определим параметры сварного шва планки к уголку. Принимаем катет шва  $k_f = 4\text{мм}$ , электрод Э42.

Напряжения в шве от среза и изгиба определится

$$\tau = \frac{F}{k_f \cdot \beta_f \cdot b_{nl}} = \frac{960}{4 \cdot 0.7 \cdot 60} = 5.71\text{МПа}$$

$$\sigma = \frac{M_{sd}}{W_f} = \frac{60000}{1680} = 35.71\text{МПа}$$

$$W_f = \sqrt{\tau^2 + \sigma^2} = \sqrt{5.71^2 + 35.71^2} = 36.16\text{МПа}$$

$$\text{Т.к } \sigma = 36.16\text{МПа} < \gamma_c \cdot \gamma_{wf} \cdot R_{wf} = 0.95 \cdot 0.8 \cdot 180 = 136.8\text{МПа}$$

Прочность сварного шва обеспечена.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Какие варианты усиления используют при усилении сжатых элементов?
2. Какие факторы учитываются при выборе конструктивного решения усиления?
3. Как обеспечить совместную работу конструкции и усиления из железобетона?
4. Как обеспечить совместную работу конструкции и усиления из металла?
5. Какие конструктивные требования должны выполняться при усилении сжатого элемента облоймой из железобетона?
6. Какие конструктивные требования должны выполняться при усилении сжатого элемента облоймой из металла?
7. Как учитывают имеющиеся дефекты и повреждения при расчете усиления?
8. Как учитывают при расчете эффективность работы усиления?
9. С какой целью производится разгрузка усиливаемой конструкции?
10. Назовите мероприятия по обеспечения долговечности усиленной конструкции.



В реальных конструкциях и сооружениях использование НЦ позволяет (см. рис. 8.2):

- увеличить плотность, морозостойкость, водонепроницаемость, истираемость, коррозионную стойкость материала;
- повысить трещиностойкость сечений конструкций;
- отказаться от гидроизоляции конструкций, к которым предъявляются требования по водо-, газо-, бензо- и маслостойкости;
- изменять статические схемы работы конструкций посредством объединения их в единую монолитную систему;
- обеспечить безусловное включение в работу компонентов усиления дефектной конструкции;
- получить железобетонную конструкцию с плоским или объемным внутренним предварительно созданным напряженным состоянием.

Бетон на основе напрягающего цемента	1	Создание водо- и бензонепроницаемости	
	2	Повышение трещиностойкости	
	3	Увеличение морозостойкости	
	4	Преднапряжение арматуры	
	5	Защита от коррозии	
		Улучшение качества	МАТЕРИАЛОВ
			КОНСТРУКЦИЙ
	6	Усиление строительных конструкций	
	7	Включение усиления в работу	
8	Объединение сборных элементов в единую монолитную систему		
9	Увеличение истираемости		

**Рисунок 8.2 – Эффект применения напрягающего бетона**

В настоящее время в практике бетон на напрягающем цементе используется в трех направлениях:

- для обеспечения гидроизоляции сооружений;
- для компенсации усадки в бетоне;
- для получения расчётного самонапряжения в конструкции.

В Республике Беларусь в 1983 году на ПО «Волковыскцементшифер» был освоен выпуск напрягающего цемента с высокой энергией самонапряжения согласно ТУ 21-20-18-80 «Цемент напрягающий НЦ-20. Технические условия». Более чем 50-летний опыт применения напрягающего бетона на практике подтвердил его экономическую целесообразность (см. таблицу 8.1)



Таблица 8.1 Практический опыт применения бетонов и растворов на основе НЦ

Область применения	Новое строительство	Ремонт (усиление)	Достигаемая цель
1	2	3	4
<b>Жилые и производственные здания</b>			
1. Жилые дома – объемные блоки типа «колпак»	+	+	Обеспечение трещиностойкости
2. Жилые дома – безрулонные кровли	+	+	Обеспечение водонепроницаемости
3. Производственные здания - полы	+	+	Отсутствие швов, отказ от гидроизоляции, повышение истираемости.
- фундаментные плиты	+	+	
4. Жилые дома – элементы мокрых помещений	+	+	Обеспечение гидроизоляции
5. Производственные здания-покрытия (оболочки)	+	+	Создание монолитной конструкции.
6. Производственные здания – гаражи (полы)	+	+	Создание бензо-, маслонепроницаемости, отказ от гидроизоляции. Объединение в монолитную конструкцию, увеличение несущей способности
7. Перекрытия и покрытия из мелкогабаритных элементов	+	+	
<b>Спортивные сооружения</b>			
1. Бассейны – ванны сборно-монолитные и монолитные	+	+	Отказ от гидроизоляции, водонепроницаемость
2. Спортивные поля – бесшовные охлаждающие плиты	+	+	Снижение количества швов, отказ от гидроизоляции
3. Трибуны	+	+	Отказ от гидроизоляции
<b>Инженерные сооружения</b>			
1. Метро - вибропресованная отделка тоннелей, швы, траншейные стены	+	+	Водонепроницаемость, трещиностойкость
2. Безнапорные и низконапорные трубопроводы – трубы	+	+	Трещиностойкость, водонепроницаемость
3. Мосты – плиты проезжей части	+	+	
4. Емкостные сооружения – стенки, днища, швы	+	+	Обеспечение монолитности, трещиностойкости, водонепроницаемости
5. Аэродромы – покрытие	+	+	Меньше швов, увеличение долговечности
6. Технологические сооружения в агрессивной среде	+	+	Защита от коррозии, герметичность
7. Дороги – бетонное покрытие	+	+	Меньше швов, увеличение долговечности
8. Фундаменты под оборудование	+	+	Монолитность, преднапряжение арматуры стыков
9. Подземные переходы	+	+	Отказ от гидроизоляции, водонепроницаемость
10. Мелиоративные каналы - облицовка	+	+	

## 8.2 Примеры практического использования напрягающего бетона при усилении.

В таблице 8.2 приведены отдельные конструктивные решения усиления конструкций, достигаемая цель и механизм взаимодействия напрягающего бетона с усиливаемым элементом.

Таблица 8.2 Конструктивные решения усиления напрягающим бетоном

Схема усиления	
<p>1</p>	<p>Повышение несущей способности</p> <p>1-кирпичная стена; 2-усиливаемая плита; 3-бетонная заглушка; 4-арматурный каркас; 5-проём в стене; 6-вырубленная полка; 7-напрягающий бетон 8,9-напрягающий контакт</p>
<p>2</p>	<p>Повышение несущей способности, истираемости и водо-, бензо-, газонепроницаемости</p> <p>1-пустотная плита; 2-арматурная сетка; 3-контактная поверхность; 4-арматурный каркас; 5-напрягающий бетон; 6-напряжённый контакт; 7-кирпичная кладка; 8-бетонная пробка</p>
<p>3</p>	<p>Повышение жёсткости перекрытия</p> <p>1-ж/б балка; 2-пустынные блоки; 3-каркас балки; 4-напрягающий бетон; 5-напряжение арматуры; 6-напряжённый контакт</p>

Продолжение таблицы 8.2

<p>4</p>		<p>Повышение несущей способности, включение усиления в работу, преднапряжение арматуры          1-ребристые плиты;          2-напрягающий бетон;          3-арматура усиления;          3а-преднапряжение арматуры;          4-напряжённый контакт;          5-подготовка поверхности</p>
<p>5</p>		<p>Повышение несущей способности, истираемости, отказ от изоляции          1-монолитная плита;          2-капиталь;          3-колонна;          4-углубления в плите;          5-анкер;          6-напрягающий бетон;          7-арматура плиты;          8-арматура усиления;          9-контактная плоскость;          10-напрягающий контакт</p>
<p>6</p>		<p>Повышение несущей способности, включение усиления в работу          1-бетононасос;          2-бетоновод;          3-усиливаемая опора;          4-напрягающий бетон;          5-арматура усиления;          6-напряжённый контакт;          7-вода;          8-преднапряжённая арматура</p>

## Окончание таблицы 8.2

<p>7</p>	<p>Повышение несущей способности, включение усиления в работу</p> <p>1-колонна; 2-фундамент; 3-напрягающий бетон; 4-арматура усиления; 5-арматура фундамента; 6-сварка; 7-бетонная подготовка; 8-уплотнённый грунт; 9- напряжённый контакт 9а-преднапряжённая арматура</p>
<p>8</p>	<p>Повышение несущей способности, включение усиления в работу</p> <p>1-усиливаемая колонна; 2-металлическая опалубка; 3-элементы опалубки; 4-сварка; 5-напрягающий бетон; 6-растяжение опалубки; 7-напряжённый контакт</p>
<p>9</p>	<p>Повышение несущей способности, включение усиления в работу</p> <p>1-усиливаемая колонна; 2-арматура колонны; 3- арматура усиления; 4- напрягающий бетон; 5-подготовка поверхности; 6- напряжённый контакт; 7,8- преднапряжённая арматура; 9-сварка;</p>

### 8.3 Технологические особенности выполнения работ.

Напрягающий цемент относится к специальным материалам и требует выполнения ряда специфических требований.

Область применения в качестве вяжущего:

- без структурных напряжений от усадки (НЦ-10);
- с получением внутренних напряжений сжатия (самонапряжения) различной интенсивности (НЦ-20, НЦ-40).

Характеристики напрягающего цемента приведены в таблице 8.3

Таблица 8.3 Технические характеристики НЦ

Показатели в соответствии с ТУ 21-20-48-82 (для НЦ-10) ТУ 21-20-18-80 (для НЦ-20 и НЦ-40)	НЦ-10	НЦ-20	НЦ-40
Предел прочности при сжатии, МПа (не менее) в возрасте 1/28 суток	-/40	15/50	15/50
Предел прочности при изгибе, МПа (не менее)	-	6	6
Самонапряжение, МПа (не менее)	1	2	4
Линейное расширение, % (не более)	1	2	2,5
Начало схватывания, мин (не ранее)	15	30	30
Конец схватывания, час (не позднее)	6	4	4
1. Характеристики даны в возрасте 28 суток. 2. Контроль соответствия показателей обязателен			

Применение для напрягающего цемента в изделиях с должной отдачей рекомендуется производить с учетом данных таблицы 8.4.

Таблица 8.4 Рекомендуемая номенклатура изделий, конструкций, сооружений

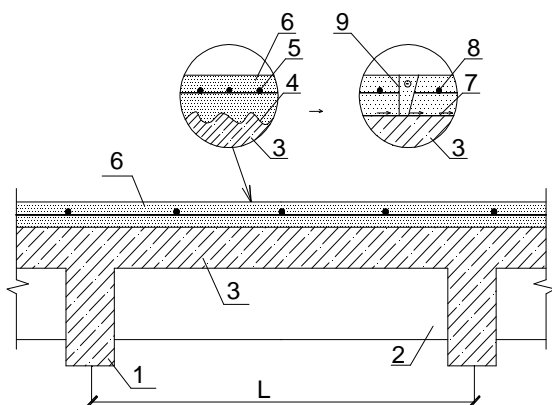
Разновидность НЦ, марка бетона по самонапряжению	Вид объекта	Достижимый эффект
НЦ-10 ТУ 21-20-48-82 S <sub>p</sub> 0.6 до S <sub>p</sub> 2	Объёмно-блочное домостроение, сборные элементы силовых, емкостей, гидроизоляционные покрытия в массовых сборных и монолитных изделиях и конструкциях (взамен портландцемента), трубы безнапорные, усиление железобетона при реконструкции объектов	Увеличение водонепроницаемости, трещиностойкости, сокращение расхода цемента, арматуры (в безнапорных трубах), сокращение цикла продолжительности термообработки, ускорение ввода сооружений в эксплуатацию, увеличение долговечности конструкций
НЦ-20 ТУ 21-20-18-80 S <sub>p</sub> 0.6 до S <sub>p</sub> 2	Трубы низконапорные и безнапорные, емкостные, подземные конструкции всех видов, тоннели метрополитенов, безрулонные кровли, полы промзданий, покрытия автодорожных мостов, эксплуатируемых кровель и спортсооружений (беговые дорожки, трибуны стадионов), бассейны	Исключение всех видов гидроизоляции, защитных стенок, сокращение сроков строительства, ускорение пуска объектов в эксплуатацию, увеличение срока службы сооружений, повышенная коррозионная стойкость, существенное сокращение расходов на текущую эксплуатацию конструкции
НЦ-40 ТУ 21-20-18-80 S <sub>p</sub> 1.5 и выше	Трубы напорные и низконапорные, дорожные, аэродромные покрытия, резервуары диаметром более 30 м, конструкции под динамические нагрузки, стыки емкостных сооружений, подземных конструкций, сборно-монолитные перекрытия	Упрощение конструкции, технологии, повышение трещиностойкости и степени сборности, сокращение сроков строительства, пуска объектов в эксплуатацию, исключение гидроизоляции, возможность уменьшения сечений и расхода бетона

Технические характеристики бетона с применением напрягающего цемента (напрягающего бетона) приведены в таблице 8.5

Таблица 8.5 Характеристики напрягающего бетона

Классы и марки напрягающего бетона									
1	Классы по прочности на сжатие								
	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C45/50	C50/60	C55/67	C60/75
2	Марки по самоупрочнению								
	S <sub>p</sub> 0.6	S <sub>p</sub> 0.8	S <sub>p</sub> 1.0	S <sub>p</sub> 1.2	S <sub>p</sub> 1.5	S <sub>p</sub> 2.0	S <sub>p</sub> 2.5	S <sub>p</sub> 3.0	S <sub>p</sub> 4.0
3	Марки по морозостойкости								
	F200			F300			F400		F500
4	Марки по водонепроницаемости								
	≥ W 12								

При выполнении работ необходимо осуществлять: контроль качества при приёмке, герметичные условия хранения, контроль дозирования воды, соблюдение регламента в процессе набора прочности. В качестве примера приведём усиление перекрытия из монолитного бетона (см. рис 8.3) и рекомендации по выполнению операций.



Достижимая цель: увеличение несущей способности; повышение уровня истираемости; создание водо-, бензо-, газонепроницаемости; отказ от дополнительной изоляции

1-главная балка, 2- второстепенная балка, 3- монолитная плита, 4- контактная поверхность, 5- арматурная сетка, 6- слой из напрягающего бетона, 7- напряжённый контакт, 8-преднапряжённая арматура, 9-эпюра собственных напряжений (самоупрочнения)

**Рисунок 8.3 – Усиление плиты монолитного перекрытия односторонним наращиванием сечения напрягающим бетоном.**

#### 8.4 Рекомендации по выполнению операций

- ◆ Производится полная разгрузка усиливаемого участка монолитного перекрытия.
- ◆ Поверхность усиливаемой конструкции должна быть подготовлена.

1. Удаляется одним из способов с поверхности слой бетона, покрытий трещинами, рыхлый, осыпающийся, загрязнённый нефтепродуктами, маслами и другими химически активными веществами, наличие которых снижает сцепление материала усиления с бетоном усиливаемой конструкции.

1.1. Механический способ – могут быть использованы перфоратор, пескоструйный аппарат, металлические щётки, вода под давлением.

1.2. Химический способ

а) если поверхность подвергалась воздействию кислой агрессивной среды: промыть чистой водой, нейтрализовать среду щелочным раствором или 4...5% раствором кальциевой соды, промыть водой.

б) при наличии масляных или жировых пятен на поверхности: состав СД(СЛ) по ТУ 6-10-1088-76 СД (диоксин – 50%, бензол – 30%, спирт этиловый – 10%, ацетон – 10%).

- 1.3. Термическое воздействие – с последующей механической доработкой.
2. Удалить с поверхности сжатым воздухом разрушенный бетон.
3. Шероховатость поверхности (естественная или полученная искусственным способом – например насечка) должна иметь выступы либо впадины размером не менее 10мм, равномерно расположенные по площади.
  - ◆ Установить арматурные сетки.
  - ◆ Подбор состава напрягающего цемента и напрягающего бетона с фиксированными характеристиками (см. таблицу 8.6)

Таблица 8.6 Характеристики материалов

Показатели	Цемент НЦ-20	Бетон Sp 1.5
Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте 1/28 сут.	15.0/40.0	10.0/40.0
Самонапряжение, МПа в возрасте 28 сут.	2.0	1.2
Линейное расширение, % в возрасте 28 сут.	2.0	1.2
Начало схватывания, мин (не ранее)	30.0	30.0
Конец схватывания, час (не позднее)	4.0	4.0

- ◆ В случае производственной необходимости увеличивать время жизнедеятельности бетонной смеси рекомендуется введением пластифицирующей добавки или использованием метода предварительной частичной гидратации.
- ◆ Приготовление бетонной смеси и укладка на увлажнённую поверхность.
- ◆ Режим твердения напрягающего бетона обеспечить по следующей схеме:
  - а) без дополнительного увлажнения с укрытием материалом, не допускающим испарение воды до достижения бетоном прочности 7÷10 МПа в течении 1 суток (при t=15...20°C), 2...4 суток (при t=5...10°C);
  - б) с устройством дополнительного увлажнения (в условиях полива, дождевания и т.д.) до окончания процесса самонапряжения в течении 14 суток.
- ◆ Контроль прочностных, деформативных и энергетических характеристик напрягающего бетона на всех этапах производства работ **ОБЯЗАТЕЛЕН**

#### Вопросы для самоконтроля

1. Обоснуйте экономическую целесообразность применения напрягающего бетона.
2. Определите область применения напрягающего бетона с учётом его возможностей.
3. Чем объяснить активную роль напрягающего бетона при усилении?
4. Перечислите положительные и отрицательные аспекты применения напрягающего бетона при усилении.
5. Как влияет напряжённый контакт между элементами на работу усиленной конструкции?
6. Можно ли использовать напрягающий бетон при усилении конструкций под землёй, под водой, инженерных вооружений.
7. Какие специфические характеристики напрягающего бетона вы знаете?
8. Почему необходим контроль параметров напрягающего цемента и бетона?

## ТЕМА №9. УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИЗМЕНЕНИЕМ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

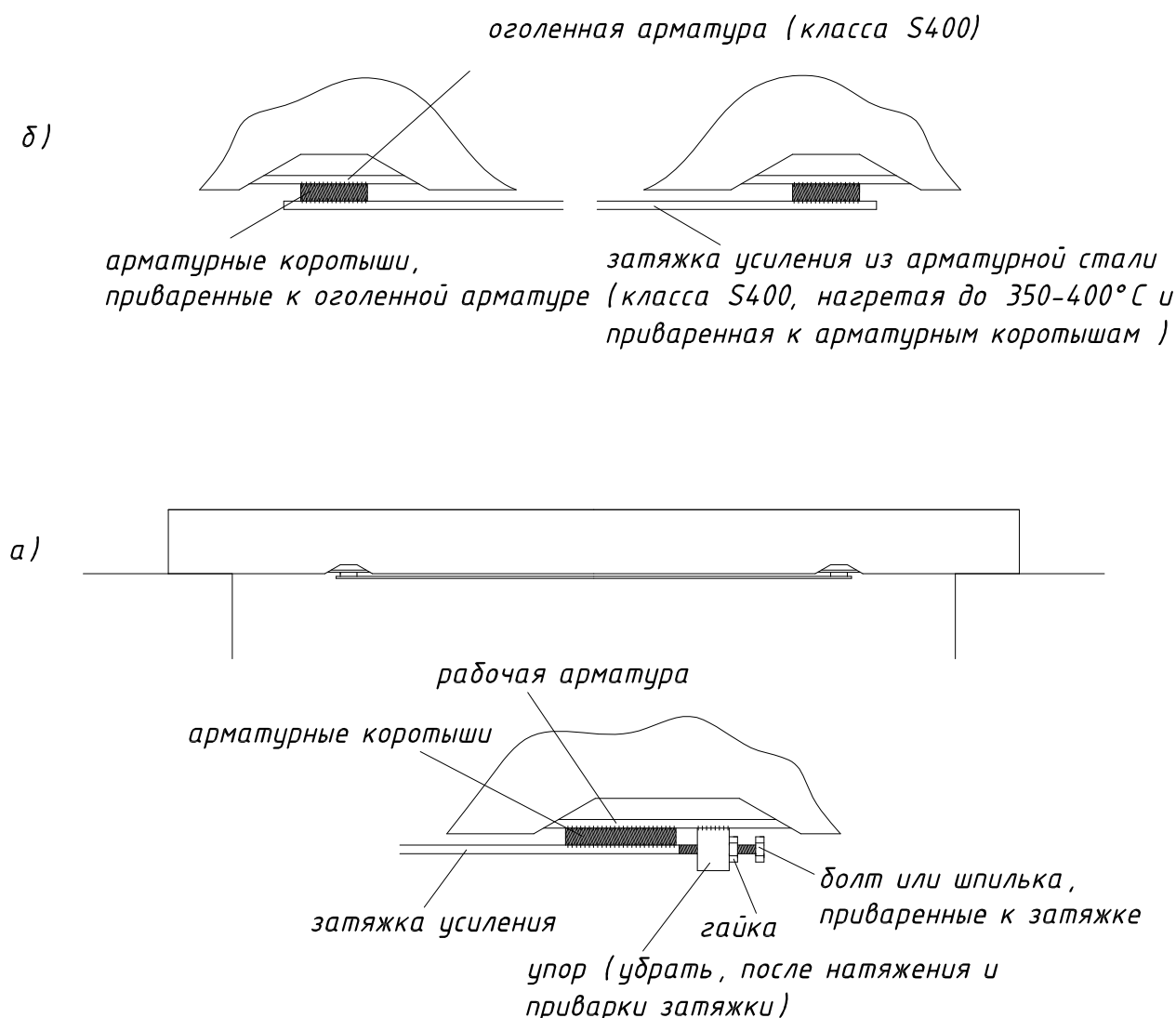
9.1 Способы изменения напряженного состояния (см. с. 141-147 [38])

9.2 Усиление шпренгельной затяжкой. Пример расчета 9.1 (см. с. 147-151 [38])

### 9.1 Способы изменения напряженного состояния

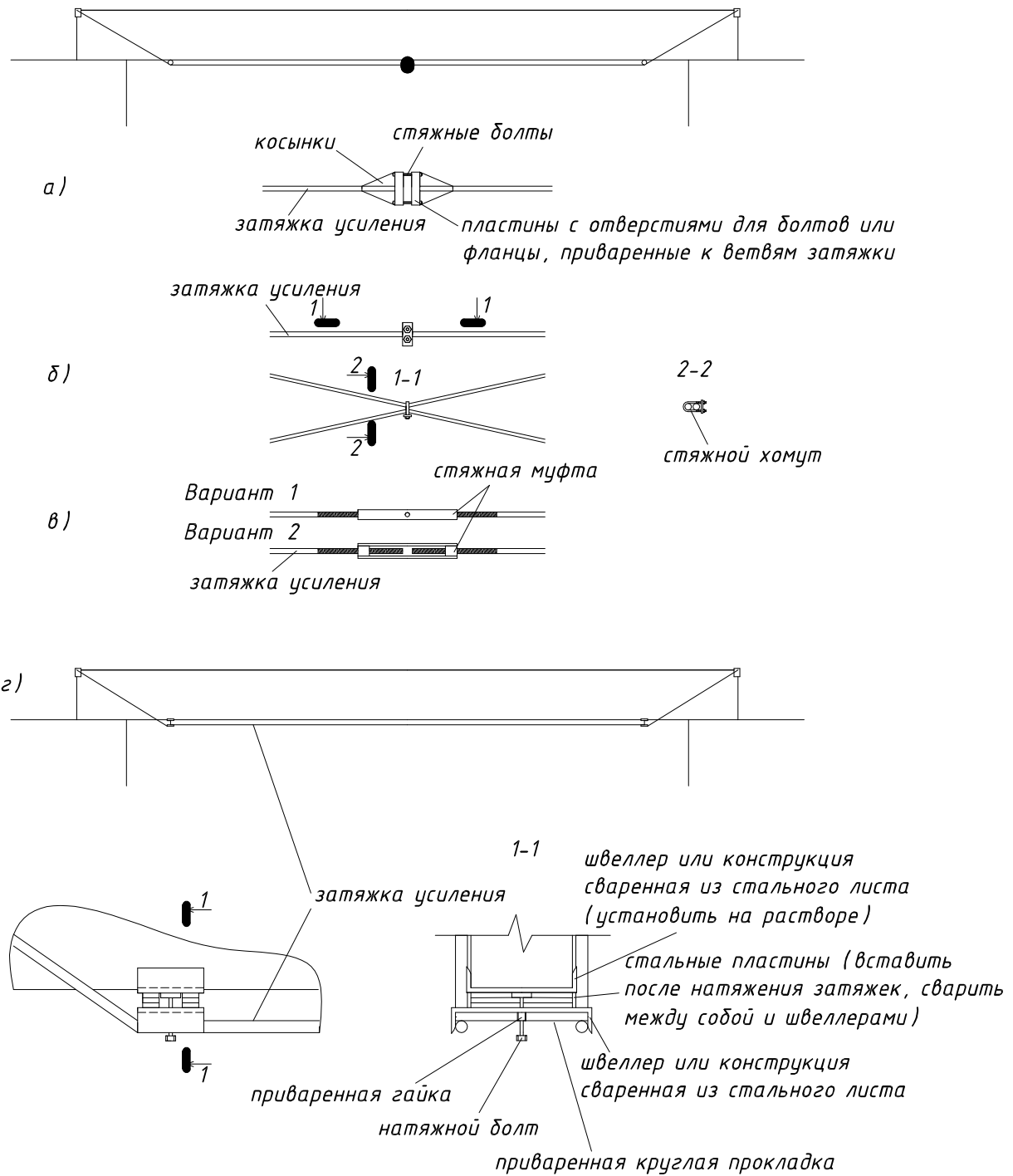
Создание предварительного напряжения в элементах усиления равносильно приложению дополнительного усилия к рассматриваемой конструкции, моделирующей иное напряженное состояние в сечении. В тоже время оно может создавать условия для «включения» усиления в работу.

На практике используют горизонтальные или шпренгельные затяжки, предварительно напряженные распорки, затяжки и хомуты. На рисунках 9.1...9.3 приведены некоторые примеры их конструктивного решения.



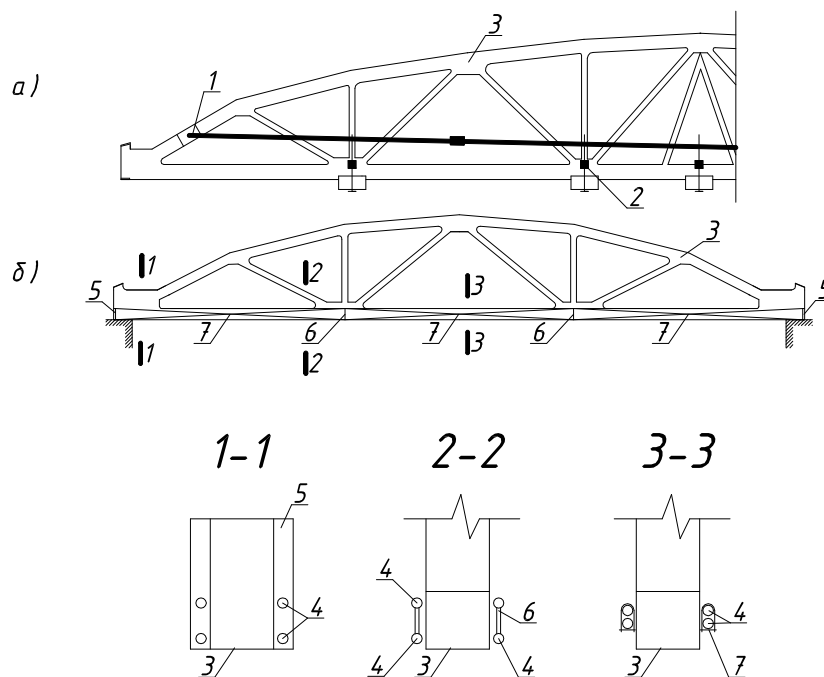
а) с натяжением гайками; б) с нагревом; в) с нагревом на упоры  
**Рисунок 9.1 – Усиление изгибаемых элементов затяжкой**





а) со стяжными болтами; б) стягиванием хомутов; в) с использованием муфт;  
г) с использованием болтов

**Рисунок 9.2 – Усиление изгибаемых элементов затяжкой**



а) шарнирно-стержневой цепью; б) преднапряжённой затяжкой из арматуры  
 1-шарнирно-стержневая цепь; 2-натяжные подвески; 3-усиливаемая ферма;  
 4-затяжка из арматуры; 5-торцевой упорный лист; 6-распорка; 7-стяжной хомут

**Рисунок 9.3 – Усиление стропильных ферм**

Шпренгельные затяжки увеличивают несущую способность, как по нормальному, так и по наклонному сечению. После установки шпренгельной затяжки усиливаемый элемент превращается в статически неопределимую комбинированную систему и работает как внецентренно сжатый. Расчёт выполняется точным методом (разработан Н.М. Онуфриевым) и приближенным (без расчёта статически неопределимой системы). В приближенном методе усиливаемый элемент испытывает действие внешней нагрузки и усилий, передаваемых на балку со стороны шпренгельной затяжки.

Расчет прочности усиленной конструкции выполняют, предполагая, что в предельной стадии напряжение в арматуре балки и затяжке достигнет предельного значения одновременно.

Алгоритм расчета шпренгельной затяжки:

1. Формируют габариты шпренгельной затяжки (см. рис. 9.4):  $a, b, c, h, \varphi, A_{ss}$ .

2. Определяют изгибающий момент в балке от внешней нагрузки до усиления  $M_{sd1}$  и после  $M_{sd2}$ .

3. Назначают величину предварительного напряжения в шпренгельной затяжке  $\sigma_{sp}$ .

4. Определяют распор в шпренгельной затяжке в предельном состоянии:

$$N = \left( \frac{M_{sd2} - M_{sd1}}{h} + \sigma_{sp} \cdot A_{sad} \right) \cdot 0,8 \leq \gamma_c \cdot A_{sad} \cdot f_{yd},$$

где  $\gamma_c = 0,8$  - коэффициент условий работы затяжки.

5. Определяют усилия от шпренгеля в предельном состоянии:

$$V = N \cdot \tan \varphi \text{ и } M_0 = N \cdot c.$$

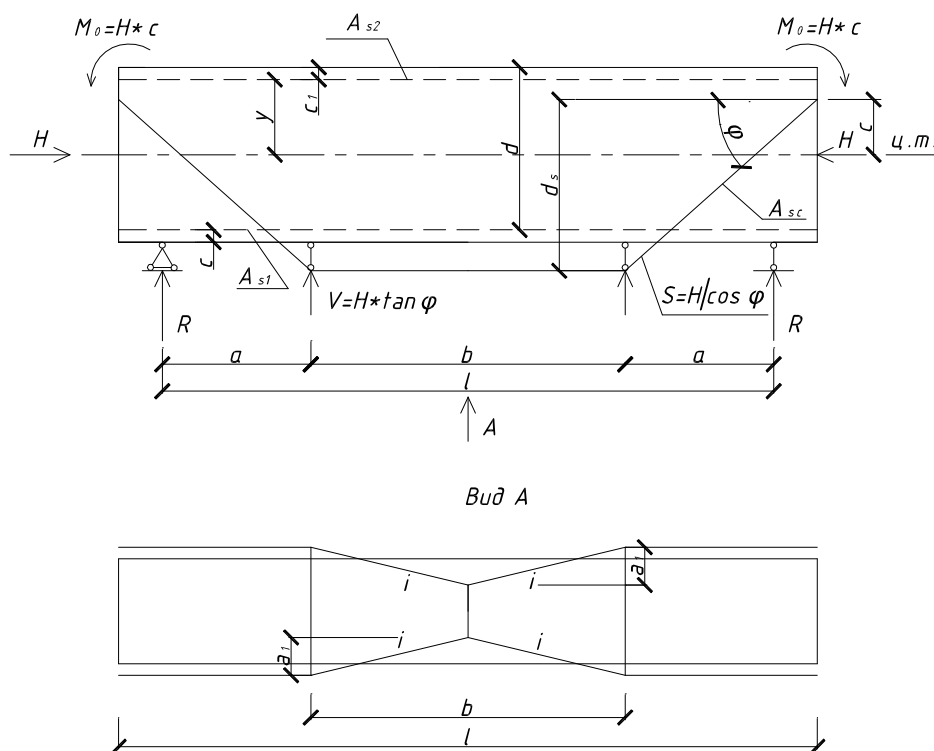
6. Проверяют сечение балки на внецентренное сжатие при действии  $M, N_{sd} = N$  и  $V$  принимая:  $M = M_{sd2} + M_0 - V \cdot d; V_n = R - V.$

$$e_0 = \frac{M_{sd2}}{H}; e = e_0 + d - y; e' = e_0 - y + c_1$$

$e_0$  - эксцентриситет относительно геометрической оси проходящей через ц.т. сечения.

Усилия натяжения затяжки создают: муфтой, винтом, домкратом, сближением ветвей (см. рис. 9.4), а величину преднапряжения по зависимости Н.М. Онуфриева.

$$\sigma_{sp} = \varepsilon_{ss} \cdot E_{sad} = (\sqrt{i^2 + 1} - 1) \cdot E_{ss}, \text{ где } i = \tan \varphi = \frac{b}{(2a_1)} - \text{уклон ветви затяжки.}$$



**Рисунок 9.4 – К расчету шпренгельной затяжки**

**Пример расчета № 9.1. Усиление изгибаемого элемента шпренгельной затяжкой**

Исходные данные: на железобетонную статически определимую балку сечением  $b \times h = 250 \times 500$  мм пролетом 6,0 м действует распределенная нагрузка (расчетная с учетом с. веса)  $q_1 = 35$  кН/м.п., которая д.б. увеличена до величины  $q_2 = 60$  кН/м.п. (см. рис. 9.5). Характеристики конструкции: бетон тяжелый класса С16/20 ( $f_{cd} = 10,6$  МПа,  $\alpha = 1,0$ ), арматура  $2\varnothing 28$  S400 ( $f_{yd} = 365$  МПа,  $A_{s1} = 1232,0$  мм<sup>2</sup>) и  $2\varnothing 16$  S400 ( $f_{yd} = 365$  МПа,  $A_{s2} = 402$  мм<sup>2</sup>). Дефекты и повреждения у конструкции отсутствуют.

1. Определим значение изгибающего момента до усиления ( $M_{sd1}$ ) и после приложения дополнительной нагрузки ( $M_{sd2}$ ) и в момент усиления ( $M_{sd3}$ , т.е. после разгрузки до 15 кН/м.п.).

$$M_{sd1} = q_1 \cdot \frac{l_{eff}^2}{8} = 35 \cdot \frac{5,86^2}{8} = 150,23 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$M_{sd2} = q_2 \cdot \frac{l_{eff}^2}{8} = 60 \cdot \frac{5,86^2}{8} = 257,54 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

$$M_{sd3} = q_3 \cdot \frac{l_{eff}^2}{8} = 15 \cdot \frac{5,86^2}{8} = 64,39 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

2. Определим несущую способность балки по нормальному сечению

$$X = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{(1232 - 402) \cdot 365}{1 \cdot 10,6 \cdot 250} = 114,32 \text{ мм}.$$

$$\xi_{lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{slim}}{\sigma_{scu}} \left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,765}{1 + \frac{365}{500} \left(1 - \frac{0,765}{1,1}\right)} = 0,630$$

$$\omega = 0,85 - 0,008 \cdot f_{cd} = 0,85 - 0,008 \cdot 10,6 = 0,765$$

$$\xi = \frac{X}{d} = \frac{114,32}{450} = 0,25 < \xi_{lim} = 0,576$$

$$M_{Rd} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (d - 0,5x) + A_{s2} \cdot f_{yd} (d - c_2) = 1 \cdot 10,6 \cdot 250 \cdot 114,32 \cdot (450 - 0,5 \cdot 114,32) + 402 \cdot 365(450 - 30) = 180,63 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Т.к.  $M_{sd3} = 257,54 \text{ кН} \cdot \text{м} > M_{Rd} = 180,63 \text{ кН} \cdot \text{м}$  необходимо выполнить усиление балки.

3. Усиление проектируем в виде шпренгельной затяжки из арматуры S400 ( $f_{yad} = 365 \text{ МПа}$ , коэффициент условия работы  $\gamma_{s,ad} = 0,8$ ). Определим сечение арматуры шпренгельной затяжки:

$$A_{s,ad} = \left(-\frac{B}{2}\right) - \sqrt{\frac{B^2}{4} - C}, \text{ где значения коэффициентов:}$$

$$C = \frac{2(M_{sd2} - A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot d_{red} + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot c_2) \cdot f_{cd} \cdot b + (A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot f_{yd})^2}{(\gamma_{s,ad} \cdot f_{y,ad})^2} =$$

$$= \frac{2(257,54 \cdot 10^6 - 1232 \cdot 365 \cdot 505 + 402 \cdot 365 \cdot 30) \cdot 10,6 \cdot 250 + (1232 \cdot 365 - 402 \cdot 365)^2}{(0,7 \cdot 365)^2} = 29,65 \cdot 10^5$$

$$B = \frac{2(A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot f_{yd} - f_{cd} \cdot b \cdot d_{red})}{\gamma_{s,ad} \cdot f_{y,ad}} = \frac{2(1232 \cdot 365 - 402 \cdot 365 - 10,6 \cdot 250 \cdot 505)}{0,7 \cdot 365} = -8104,11.$$

$$A_{s,ad} = \left(-\frac{8104,11}{2}\right) - \sqrt{\frac{8104,11^2}{4} - 29,65 \cdot 10^5} = 384,07 \text{ мм}^2.$$

Принимаем затяжку из 2Ø18S400 с  $A_{s,ad} = 509 \text{ мм}^2 > 384,07 \text{ мм}^2$ .

4. Т.к. после вовлечения затяжки в работу балка воспринимает полезную распределенную нагрузку и усилия от затяжки, проверим её прочность как внецентренно сжатого элемента (см. рис. 9.6).

Усилие от опорной реакции затяжки в предельном состоянии.

$$N_{s,ad} = \gamma_{s,ad} \cdot A_{s,ad} \cdot f_{y,ad} \cdot \cos \varphi = 0,8 \cdot 509 \cdot 365 \cdot 0,936 = 139,12 \cdot 10^3 \text{ Н} = 139,12 \text{ кНм},$$

$$\text{где } \tan \varphi = \frac{560}{1490} = 0,376, \varphi = 20^\circ 36', \cos \varphi = 0,936.$$

Дополнительный изгибающий момент определится:

$$M_{s,ad} = N_{s,ad} \cdot e_{ad} = N_{s,ad} \cdot (h - y_0) = 139,12 \cdot 10^3 \cdot (500 - 238,17) = 36,42 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 36,42 \text{ кНм}.$$

$$y_0 = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{330,63 \cdot 10^5}{138,82 \cdot 10^3} = 238,17 \text{ мм}$$

$$A_{red} = A + \alpha \cdot A_{s1} + \alpha \cdot A_{s1} + \alpha \cdot A_{s.ad} = 250 \cdot 500 + 6,45 \cdot 1232 + 6,45 \cdot 509 + 6,45 \cdot 402 = 138822,35 \text{ мм}^2$$

$$S_{red}^{0-0} = b \cdot h \cdot (0,5h) + \alpha \cdot A_{s1} \cdot a + \alpha \cdot A_{s2} \cdot (h - a_1) + \alpha \cdot A_{s.ad} \cdot a_{ad} = 250 \cdot 500^2 \cdot 0,5 + 6,45 \cdot 1232 \cdot 50 + 6,45 \cdot 402(500 - 30) + 6,45 \cdot 509 \cdot 60 = 330,63 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{2 \cdot 10^5}{3,1 \cdot 10^4} = 6,45$$

Разгружающее усилие в точке перегиба затяжки.

$$P_{s.ad} = N_{s.ad} \cdot \tan \varphi = 139,12 \cdot 0,376 = 52,31 \text{ кН.}$$

$$M_{p.ad} = P_{s.ad} \cdot a = 52,31 \cdot 1,49 = 77,94 \text{ кН.}$$

Проверим прочность внецентренно сжатого элемента на M и N при  $l_{eff} = 5,98 \text{ м.}$

$$M = M_{sd2} + M_{s.ad} - M_{p.ad} = 257,54 + 36,42 - 77,94 = 216,02 \text{ кНм}$$

$$N = N_{s.ad} = 139,12 \text{ кН.}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{216,02}{139,12} = 1,55 \text{ м; } e = e_0 - 0,5h + c = 1,55 - 0,5 \cdot 0,5 + 0,05 = 1,75 \text{ м}$$

$$M_1 = N \cdot e = 139,12 \cdot 1,75 = 243,46 \text{ кНм}$$

$$\chi = \frac{N + A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{139,12 \cdot 10^3 + 1232 \cdot 365 - 402 \cdot 365}{1 \cdot 10,6 \cdot 250} = 166,82 \text{ мм.}$$

$$\xi = \frac{\chi}{d} = \frac{166,82}{450} = 0,37 < \xi_{lim} = 0,576$$

$$M_{Rd} = \alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot \chi \cdot (d - 0,5\chi) + A_{s2} \cdot f_{yd} (d - a_2) = 1 \cdot 10,6 \cdot 250 \cdot 166,82 \cdot (450 - 0,5 \cdot 166,82) + 402 \cdot 365(450 - 30) = 253,69 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Т.к.  $M_1 = 243,46 \text{ кН} \cdot \text{м} < M_{Rd} = 253,69 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , значит прочность нормального сечения обеспечена.

5. Выполняется проверка прочности наклонного сечения на поперечную силу с учетом влияния затяжки.

$$V_{sd} = \frac{q_2 \cdot l_{eff}}{2} - P_{s.ad} = \frac{60 \cdot 5,86}{2} - 45,77 = 130,03 \text{ кН.}$$

Должно выполняться условие:  $V_{sd} \leq V_{Rd}$ .

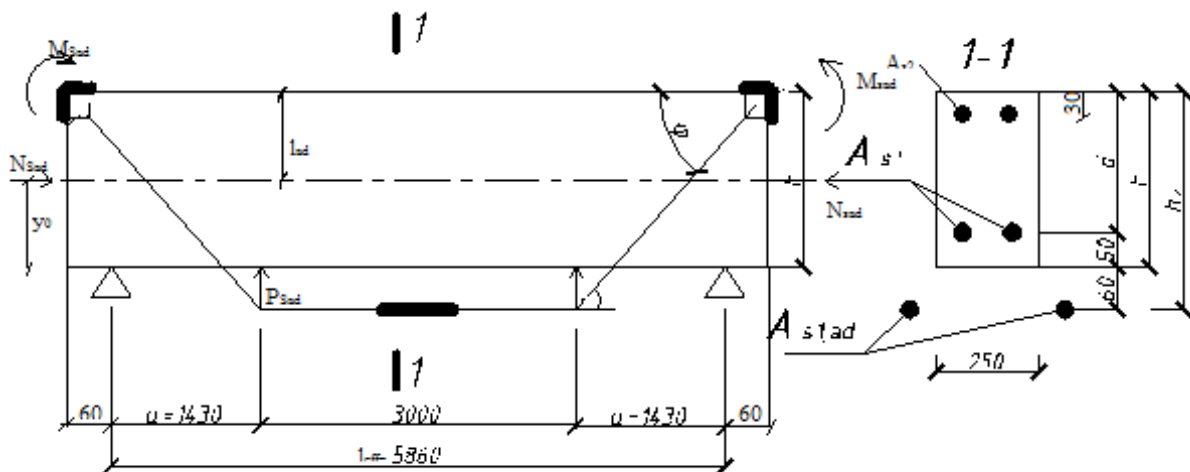
6. Механизм включения шпренгельной затяжки в работу предполагает создание предварительного напряжения. Величина предварительного напряжения определяется с учетом данных таблицы 9.1 и соотношения  $\frac{q_2}{q_3} = \frac{60}{15} = 4,0$ .

$$\sigma_{sp} = 0,46 \cdot f_{yk} = 0,46 \cdot 400 = 184 \text{ МПа.}$$

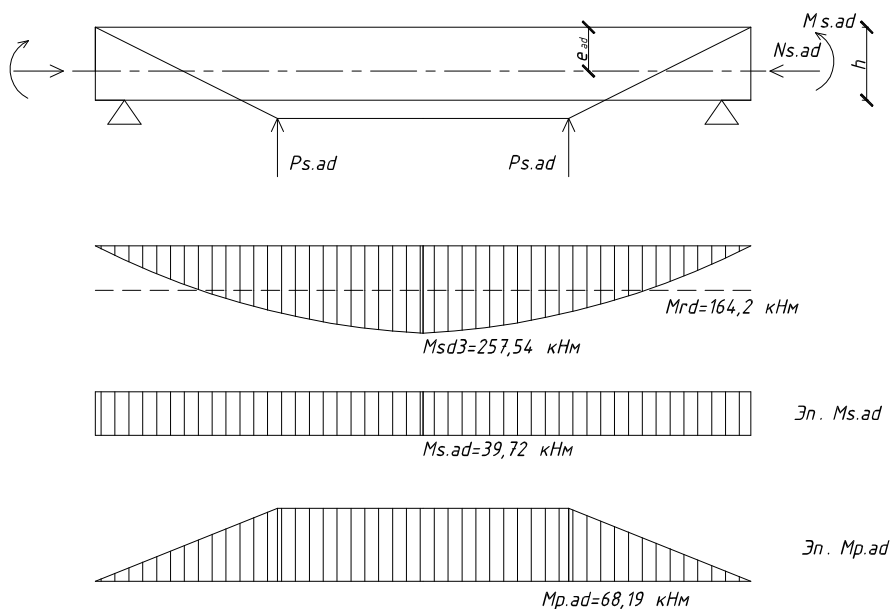
Таблица 9.1

$\frac{q_2}{q_3}$	1-1,25	1,25-1,7	1,7-2,5	2,5-5,0
$\frac{\delta_{sp}}{f_{yk}}$	1-0,8	0,8-0,7	0,7-0,55	0,55-0,4

7. Выполняется конструирование элементов шпренгельной затяжки.



**Рисунок 9.5 – К расчету шпренгельной затяжки**



**Рисунок 9.6 – К расчету шпренгельной затяжки**

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Какие способы усиления с изменением напряженного состояния сечения используют на практике при усилении стропильных балок.
2. Какие способы усиления с изменением напряженного состояния сечения используют на практике при усилении стропильных ферм.
3. Какие способы усиления с изменением напряженного состояния сечения используют на практике при усилении внецентренно сжатых элементов.
4. Назовите способы создания предварительного напряжения в элементах усиления.
5. Можно ли одновременно усиливать нормальное и наклонное сечение.
6. Чем отличается усиление горизонтальной и шпренгельной затяжкой.
7. С какой целью выполняется отгиб затяжки.
8. Как производится эксплуатация элементов затяжки усиления.

## ТЕМА №10. УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 10.1 Общие положения по расчету (см. с. 1-3 [43])
- 10.2 Физико-механические характеристики материалов (см. с. 4-6 [43])
- 10.3 Расчет усиления по предельным состояниям первой группы (см. с. 6-31 [43])
  - 10.3.1 Расчет прочности нормального сечения изгибаемого элемента
  - 10.3.2 Расчет прочности наклонного сечения изгибаемого элемента
  - 10.3.3 Расчет сжатых элементов
  - 10.3.4 Расчет растянутых элементов
- 10.4 Конструктивные требования при проектировании усиления системой ФАП
- 10.5 Пример расчета усиления нормального сечения системой ФАП
- 10.6 Пример расчета усиления наклонного сечения системой ФАП

### 10.1 Общие положения по расчету

При усилении композиционные материалы (материалы на основе углеродных, арамидных, стеклянных и т.д. волокон, т.е. фиброармированные пластики - ФАП) используются как внешнее армирование в виде лент, холстов приклеиваемых специальными полимерными или эпоксидными составами.

Использование ФАП (см. рис. 10.1) предполагает выполнение следующих условий (требований):

- температура эксплуатации системы ФАП не должна превышать температуру стеклования (изготовления) полимерной матрицы и клея (индивидуально по типу, общий диапазон температур  $60^{\circ}\dots 150^{\circ}\text{C}$ );

- элементы ФАП используют как внешнюю продольную или поперечную арматуру стержневых элементов и в виде усиливающих оболочек центрально- и внецентренно-сжатых элементов;

- использование ФАП рационально для увеличения начальной несущей способности конструкции на 10-60%;

- система ФАП может применяться при фактической прочности бетона основания не ниже 15 МПа; исключения составляют обоймы, где важна только механическая связь;

- использование системы ФАП требует выполнения дополнительных самостоятельных отдельных операций по защите арматуры от коррозий, восстановлению защитного слоя бетона каверн, сколов и т.д.;

- расчет производится по методу предельных состояний. Расчеты по предельным состояниям первой группы выполняются всегда, а по второй группе – если планируется увеличение нагрузки.

При выполнении расчетов опираются на следующие положения:

- ламинат (элемент ФАП) рассчитывается на восприятие растягивающих усилий из условия совместности деформаций внешней арматуры и бетона;

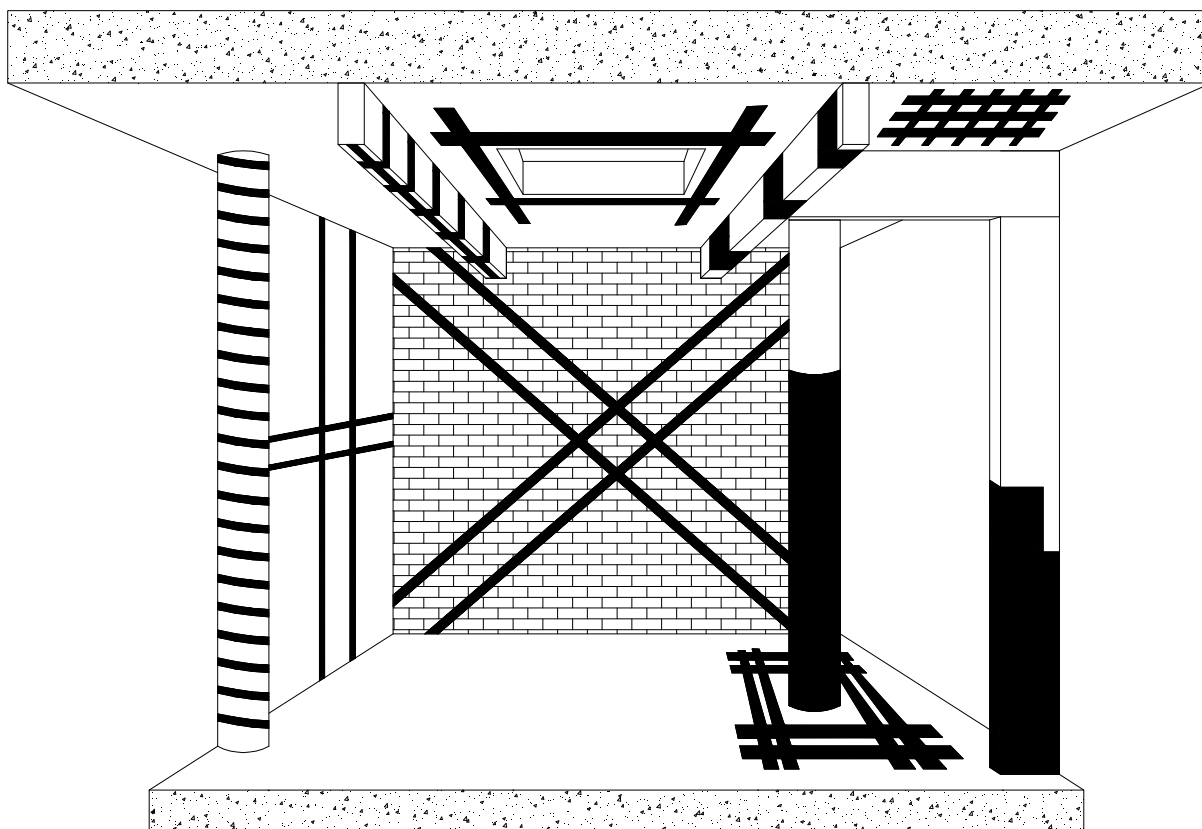
- в предельном состоянии изгибаемого элемента усилия в сжатой зоне воспринимаются бетоном и сжатой стальной арматурой, а в растянутой – стержневой стальной арматурой и внешней композитной арматурой;

- в предельном состоянии сжатого (с малым эксцентриситетом) элемента поперечное расширение воспринимается оболочкой (лента, холст, ткань) из ФАП;

- при расчете внутренних усилий используется гипотеза плоских сечений;

- при изменении знака изгибаемого момента в элементе прочность внешней арматуры из ФАП в сжатой зоне не учитывается;

- при проектировании не усиленная конструкция должна воспринимать постоянную и ограниченную временную нагрузку (случай пожара, вандализма и т.д.).



**Рисунок 10.1 – Варианты использования ФАП при усилении СК.**

При расчете усиления композиционными материалами их свойства и физико-механические характеристики приведены с индексом  $f$ . Например:  $f_{fd}(f_{fk})$  или  $E_{fk}(E_{fd})$  - расчетное (нормативное) сопротивление композиционного материала или модуля деформации. Другие обозначения расшифрованы по тексту.

Расчетные характеристики ФАП определяют с учетом коэффициента надежности  $\gamma_f$  и коэффициента условия работы  $\gamma_E$

$$f_{fd} = \frac{f_{fk} \cdot \gamma_E}{\gamma_f} \quad (10.1)$$

$$\varepsilon_{fd} = \frac{\varepsilon_{fk} \cdot \gamma_E}{\gamma_f} \quad (10.2)$$

$$E_{fk} = E_{fd} = \frac{f_{fk}}{\varepsilon_{fk}} \quad (10.3)$$

где:  $f_{fd}(f_{fk})$ ,  $\varepsilon_{fd}(\varepsilon_{fk})$ ,  $E_{fk}(E_{fd})$ , - расчетные (нормативные с обеспеченностью 0.95) характеристики прочности на растяжение, деформации растяжения, модуля деформаций соответственно.

$\gamma_f = 1.1$  (1.0) - коэффициент надежности при расчете по предельным состояниям первой (второй) группы;

$\gamma_E$  - коэффициент условия работы, принимают согласно таблице 10.1



Таблица 10.1 Значения коэффициента условия работы  $\gamma_E$  для материалов ФАП

Вид материала	Условия окружающей среды					
	Внутри помещения		На открытом воздухе		Агрессивная среда	
	ламинат	ткань	ламинат	ткань	ламинат	ткань
Углерод	0,95	0,90	0,85	0,80	0,85	0,80
Стекло	0,75	0,70	0,65	0,60	0,50	0,50
Арамид	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,60

### 10.2 Физико-механические характеристики материалов

Фактические характеристики бетона и арматуры усиливаемой конструкции определяются в процессе диагностики конструкции.

Свойства ФАП в основном определяются типом, ориентацией и количеством армирующих волокон и подтверждаются результатами испытания образцов с оценкой объемного содержания волокон (не менее 60%). История практического использования ФАП начата в 1991 г.

Выпускают следующие виды ФАП.

Ламинаты – углеродные волокна, строго ориентированные в одном направлении и омоноличенные (ламинированные) в полимере в виде жестких полос. Ламинаты приклеивают непосредственно на подготовленную поверхность усиливаемой конструкции. Характеристики определяют испытанием (ГОСТ 25.601-80. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Методы испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температур).

Холст – гибкая ткань с однонаправленным или двунаправленным расположением волокон. Холст при установке на конструкцию утапливается в полимерный клей – матрицу, обеспечивающую плотное прилегание к поверхности.

Ламинаты и холсты с однонаправленным расположением волокон применяют для восприятия продольных усилий в изгибаемых, сжатых и растянутых элементах. Холсты с направлением волокон в двух направлениях используют для участков конструкций работающих в сложном напряженном состоянии, для восприятия поперечной силы, сдвиговых усилий и т.д. В таблицах 10.2 , 10.3, 10.4 приведены основные характеристики материалов.

Таблица 10.2 Коэффициенты температурного расширения материалов ФАП.

характеристика направления	Коэффициент линейного температурного расширения $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		
	стекловолокно	углеродное волокно	арамидное волокно
продольное, $\alpha_a$	6-10	от -1 до 0	от -6 до -2
поперечное, $\alpha_d$	19-23	22-50	60-80
1. Значение к. л. т. р. для стали – $11,7 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ 2. Значение к. л. т. р. для бетона – $(7..11) \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ (анизотропен)			

Таблица 10.3 Физико-механические свойства материалов ФАП.

Материал	Модуль упругости $E_{fk}$ , ГПа	Прочность при растяжении $f_{fk}$ , МПа	Предельное удлинение $\delta$ , %	Плотность $\rho_f$ , кг/см <sup>3</sup>
Углерод (ВП)	200-250	3400-3900	1,5-2,5	1750-1950
Углерод (ВМ)	300-700	2900-4000	0,45-1,2	1750-1950
Армид (ВП)	75	3500	4,6	1400
Армид (ВМ)	110	2900	1,5-2,4	1400
Стекло (тип Е)	72-77	3400-3700	3,3-4,8	2600
Стекло (тип С)	75-78	4300-4900	4,2-5,4	2500
Стекло (тип А)	21-74	300-3500	2,0-4,3	2700
1. Условные обозначения: ВМ – высокомодульный, ВП – высокопрочный, А – щелочестойкое, С – высокопрочное, Е – универсальное.				

Использование данных из таблиц 10.2-10.4 предполагает обязательное испытание готовых изделий в лаборатории. Удобнее использовать элементы системы ФАП выпускаемые на промышленной основе, где производитель гарантирует стабильность заявляемых характеристик. Ниже приводятся данные о выпускаемых и имеющих на рынке материалах системы ФАП (табл.10.5...10.12). Система усиления из углепластиковых ламинелей (полос) Sika Carbo Dur и клея Sikadur-30 (очиститель Colma Cleaner): поставка в рулонах до 250 м, содержание углеродных волокон в эпоксидной смоле более 68%, требует защиты от ультрафиолета (см. табл.10.5, 10.6).

Таблица 10.4 Физико-механические свойства термоактивных смол, применяемых при наклеивании ФАП.

№ п/п	Характеристики	Полиэфирсы	Эпоксиды
1	Плотность $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup>	1000-1450	1100-1400
2	Прочность при растяжении $f_{fk}$ , МПа	30-55	30-90
3	Прочность при сжатии $f'_{fk}$ , МПа	55-96	50-110
4	Модуль упругости $\dot{A}_{fk}$ , ГПа	2,1-4,1	0,5-20
5	Предельная относительная деформация при разрыве, %	1-300	0,5-50
6	Коэффициент линейного теплового расширения, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	40-80	10-100
7	Температура стеклования, $^{\circ}\text{C}$	50-60	40-260
8	Адсорбция воды: за 1 сут., %	0,08-0,09	-
	-за 7 сут., %	-	0,1-0,3

Таблица 10.5 Типы выпускаемых ламинатов.

№ п/п	Тип	Ширина, мм	Толщина, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>
Sika Carbo Dur S, $E_{fk}=165000$ МПа				
1	Sika Carbo Dur S 512	50	1,2	60
2	Sika Carbo Dur S 612	60	1,2	72
3	Sika Carbo Dur S 812	80	1,2	96
4	Sika Carbo Dur S 1012	100	1,2	120
5	Sika Carbo Dur S 1212	120	1,2	144
6	Sika Carbo Dur S 1512	150	1,2	180
7	Sika Carbo Dur S 614	60	1,4	84
8	Sika Carbo Dur S 514	90	1,4	126
9	Sika Carbo Dur S 1014	100	1,4	140
10	Sika Carbo Dur S 1214	120	1,4	168
Sika Carbo Dur M, $E_{fk}=210000$ МПа				
11	Sika Carbo Dur M 514	50	1,4	70
12	Sika Carbo Dur M 614	60	1,4	84
13	Sika Carbo Dur M 914	90	1,4	126
14	Sika Carbo Dur M 1214	120	1,4	168
Sika Carbo Dur H, $E_{fk}=300000$ МПа				
15	Sika Carbo Dur H 514	50	1,4	70

Таблица 10.6 Физико-механические характеристики ламинатов.

№ п/п	Характеристики	Sika Carbo Dur S	Sika Carbo Dur M	Sika Carbo Dur H
1	Модуль упругости, МПа (среднее значение)	>165000	>210000	>3000000
2	Модуль упругости, МПа (минимальное значение)	>160000	>200000	>290000
3	Предел прочности при растяжении, $f_{fk}$ , МПа	>2800	>2800	>1350
4	Относительное удлинение при разрушении, % (min)	1.70	1.35	0.45
1. Характеристики получены при растяжении вдоль волокон.				

Система усиления эластичными углеродными холстами Sika Wrap: холст из углеродных волокон Sika Wrap Hex 230C, клеевой состав для пропитки холстов Sikadur 330, раствор для профилирования бетонной поверхности Sikadur 41, угольники для укрепления зон среза Sika Carbo Shear L, для восприятия растягивающих и срезающих напряжений.

Таблицы 10.7 Технические характеристики Sika Carbo Dur – 30.

Показатель	Характеристики
Темп нанесения	Основание и воздух от +10 °С до +30 °С
Усадка (по FIP)	0,04%
$f_{fk}$ , МПа	12800
Адгезия к бетону (по FIP)	Растяжение – разрушение бетона (4 МПа) Сжатие – разрушение бетона (15МПа)
Адгезия к стали (по FIP)	Поверхность после пескоструйной обработки (33МПа)
Коэффициент линейного расширения $9 \times 10^{-5}$ на 1°С (от -10°С до +40°С)	

Таблица 10.8 Физико-механические свойства элементов ФАП (ламинаты) от производителя.

Марка производителя ламинатов	Тип	Толщина, мм	Ширина, мм	$E_{TK}$ , ГПа	$f_{fk}$ , МПа	$\varepsilon_{fk}$ , %	Наполнение, %
Mapei – Carboplate. E – 170	К	1,4	50, 100, 150	170	>3100	2.0	68
Mapei – Carboplate. E – 250	К	1,4	50, 100, 150	250	2500	0.9	65

1. Условные обозначения: К – свойства отверженного композита.

Таблица 10.9 Физико-механические свойства смол от производителя.

Марка производителя смол	$t_{AE}^1$ , мин	$\dot{A}_D$ , ГПа	$f_D$ , МПа	$\delta_\delta$ , %	$\dot{A}_{BU}$ , ГПа	$f_{PU}$ , МПа	$\dot{O}_{fpei}$ , °С	$\dot{O}_{yeñ}$ , °С
Mapei Wrap 31	40	-	30	1,2	3,8	70	5-30	-
Mapei Wrap 21	40	-	30	1,2	2,5	55	10-30	-
Mapei Adesilex PG	30	-	-	-	-	-	5-30	-

1. Время жизнеспособности при температуре +20°С

Таблица 10.10 Физико-механические характеристики холста Sika Wrap Hex 230C.

№ п/п	Показатели	Характеристики
1	Долговечность	Нет ограничения, нет коррозии
2	Прочность волокон на растяжение $f_{fk}$ , МПа	3500
3	Деформации при отрыве, %	1,5
4	Размеры, мм	305x0.13 мм, 610x0.13 мм
5	Модуль упругости, МПа	230000
6	Направление волокон	Одно направление

Таблица 10.11 Технические характеристики эпоксидного состава Sika Dur 230.

№ п/п	Показатели	Характеристики
1	Вязкость	при $t = 20^{\circ}\text{C}$ - паста
2	Температура стеклования	7 суток при $t = 15^{\circ}\text{C}$
3	Прочность на растяжение $f_{dk}$ , МПа	30 (через 7 суток)
4	Адгезия к бетону	разрушение бетона (через 1 сут.)
5	Модуль упругости, МПа	38000
6	Условия (при $t = 23^{\circ}\text{C}$ )	Жизнеспособность 30 мин

Таблица 10.12 Физико-механические свойства элементов ФАП.

Марка производителя холстов	Тип	Толщина, мм	Ширина, мм	$E_{fk}$ , ГПа	Прочность на растяжение $f_{fk}$ , МПа	Деформация при разрыве $\epsilon_f$ , %	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>
Маре Wrap – C Uni – AX 300/10, 300/20, 300/40	В	0,167	100, 200, 400	230	4800	2,1	300
Маре Wrap – C Uni – AX 600/10, 600/20, 600/40	В	0,335	100, 200, 400	230	4800	2,1	600

1. Условные обозначения: В – свойства исходного волокна.

### 10.3 Расчет усиления по предельным состояниям первой группы.

#### 10.3.1 Расчет прочности нормального сечения изгибаемого элемента.

При расчете рассматриваются следующие виды предельных состояний:

- разрушение сжатой зоны бетона до достижения напряжений текучести в стержневой растянутой арматуре; напряжения в ФАП значительно ниже расчетных;
- наступление текучести в растянутой стержневой арматуре и последующий разрыв внешней арматуры ФАП без разрушения сжатой зоны бетона;
- наступление текучести в растянутой стержневой арматуре и последующее разрушение арматуры ФАП и сжатой зоны бетона;
- разрушение от отслоения элементов ФАП.

Расчет производят с учетом следующих предпосылок:

- сопротивление бетона растяжению принимают равным нулю;
- эпюра напряжений в сжатой зоне принимается прямоугольной с предельной ординатой  $\alpha \cdot f_{cd}$ ;
- в стальной стержневой арматуре предельные напряжения принимают равными  $f_{yd}$  (растяжение) и не более  $f_{yd}$  (сжатие);

— растягивающие напряжения в арматуре из ФАП принимают не более расчётного сопротивления  $f_{fd}$ ;

— внешняя арматура и бетон работают совместно (т. е. сохраняют полное сцепление до наступления предельного состояния);

— деформации сдвига в клеевом шве не учитываются.

Расчет выполняют с учетом соотношения  $\xi = \frac{x}{d}$  и  $\xi_{lim}$  при котором напряжения в стальной арматуре достигают значения  $f_{yd}$  и соотношения  $\xi_f = \frac{x_f}{h}$  и  $\xi_{f.lim}$  при котором напряжения в арматуре ФАП достигают значения  $f_{fd}$ .

Значения  $\xi_{lim}$  и  $\xi_{f.lim}$  определяются:

$$\xi_{lim} = \frac{x}{d} = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{s.lim}}{\sigma_{sc.u}} \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} \quad (10.4)$$

$$\xi_{f.lim} = \frac{x_f}{h} = \frac{\omega}{1 + \frac{f_{fd}}{\varepsilon_{c1} \cdot E_{fd}} \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} \quad (10.5)$$

где: коэффициент  $\omega = 0,85 - 0,008 \cdot f_{cd}$ ;

$\varepsilon_{c1}$  — относительная деформация бетона соответствующая пиковой точке диаграммы деформирования бетона (значения  $\xi_{lim}$  и  $\xi_{f.lim}$  определять по [13])

Значения максимально допустимой расчетной прочности материала внешнего армирования (ФАП) определяется:

$$f_{fu} = \varepsilon_{fu} \cdot E_{fd} \quad (10.6)$$

Предельно допустимое значение деформаций материала ФАП из условия отслоения от бетонного основания:

$$\varepsilon_{fu} = \varepsilon_{fu} \left(\frac{h - x_f}{x_f}\right) - \varepsilon_{ci} \leq k_m \cdot \varepsilon_{fd} \quad (10.7)$$

Коэффициент условий работы ФАП, который зависит от жесткости элемента усиления ФАП:

$$k_m = \frac{1}{60 \cdot \varepsilon_{fd}} \left(1 - \frac{n \cdot E_{fd} \cdot t_f}{360000}\right) \leq 0.9 \quad (10.8)$$

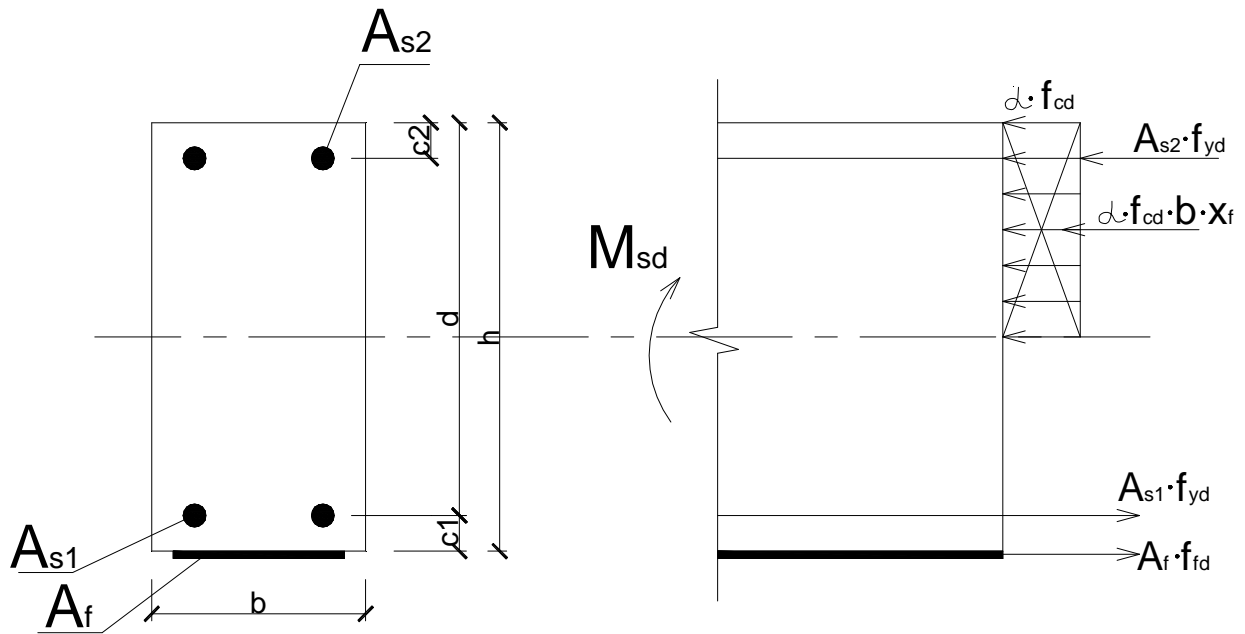
$$k_m = \frac{1}{60 \cdot \varepsilon_{fd}} \left(\frac{90000}{n \cdot E_{fd} \cdot t_f}\right) \leq 0.9 \quad (10.9)$$

Значение коэффициента ( $k_m$ ) определяется по (10.8), если  $n \cdot E_{fd} \cdot t_f < 180000$  и по (10.9), если  $n \cdot E_{fd} \cdot t_f \geq 180000$ . Коэффициент ( $k_m$ ) по сути ограничивает достижение предельной деформации разрыва материала ФАП, обеспечивая отсутствие отслоения. Расчет прочности усиленного сечения производят в общем случае (см. рис.10.2)

$$M_{sd} \leq M_{Rdf} \quad (10.10)$$

Высота сжатой зоны бетона определяется:

$$\alpha \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x_f + A_{s2} \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot f_{yd} - \sigma_{fd} \cdot A_f = 0 \quad (10.11)$$



**Рисунок 10.2 – Схема усилий и эпюра напряжений в сжатой зоне нормального сечения усиленного изгибаемого элемента.**

При разрушении сечения по стальной арматуре и ФАП, т.е. при  $\xi_{f.lim} \geq \xi_f \geq \xi_{lim}$  условия запишутся

$$x = \frac{A_f \cdot f_{fd} + A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (10.12)$$

$$M_{Rdf} = A_f \cdot f_{fd} (h - 0.5x_f) + A_{s1} \cdot f_{yd} (d - 0.5x_f) + A_{s2} \cdot f_{yd} (0.5x_f - c_2) \quad (10.13)$$

При разрушении бетона сжатой зоны и достижения предела текучести в стальной арматуре, а в ФАП нет, т.е. при  $\xi_{f.lim} \geq \xi_f \geq \xi_{lim}$

$$x = \frac{A_f \cdot \sigma_f + A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (10.14)$$

$$M_{Rdf} = A_f \cdot \sigma_{fd} (h - 0.5x_f) + A_{s1} \cdot f_{yd} (d - 0.5x_f) + A_{s2} \cdot f_{yd} (0.5x_f - c_2) \quad (10.15)$$

При разрушении бетона сжатой зоны и напряжений в стальной арматуре и ФАП ниже предельного, т.е.  $\xi_{f,\omega} > \xi_f > \xi_{lim}$

$$x = \frac{A_f \cdot \sigma_f + A_{s1} \cdot \sigma_s - A_{s2} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (10.16)$$

$$M_{Rdf} = A_f \cdot \sigma_f (h - 0.5x_f) + A_{s1} \cdot \sigma_s (d - 0.5x_f) + A_{s2} \cdot f_{yd} (0.5x_f - c_2) \quad (10.17)$$

Действующие в стальной растянутой арматуре и ФАП напряжения определяются

$$\sigma_s = \frac{\varepsilon_{c1} \cdot E_s}{1 - \left(\frac{\omega}{1.1}\right)} \cdot \left(\frac{\omega}{\xi_f} - 1\right) \quad (10.18)$$

$$\sigma_f = \frac{\varepsilon_{c1} \cdot E_{fk}}{1 - \left(\frac{\omega}{1.1}\right)} \cdot \left(\frac{\omega}{\xi_f} - 1\right) - \varepsilon_{\alpha} \cdot E_{fd} \quad (10.19)$$

где:  $\varepsilon_{\alpha}$  – деформация наиболее растянутого волокна бетонного сечения от действующих в момент усиления нагрузок.

$$\varepsilon_{\alpha} = -\varepsilon_{\alpha} \left(\frac{h-x}{x}\right) = -\frac{M_{sdb} \cdot x}{E_{cm} \cdot I_1} \left(\frac{h-x}{x}\right) \quad (10.20)$$

где:  $M_{sdb}$  – изгибающий момент, действующий в сечении в момент усиления.

Высоту сжатой зоны определим для сечения с трещиной, работающего в упругой стадии из выражения:

$$A_{s1} (d-x) \cdot \alpha_s - (\alpha_s - 1) \cdot A_{s2} (x - c_2) - 0.5b \cdot x^2 = 0 \quad (10.21)$$

$$I_1 = \frac{b \cdot x^3}{3} + A_{s1} \cdot \alpha_s (d-x)^2 + (\alpha_s - 1) \cdot A_{s2} \cdot (x - c_2)^2 \quad (10.22)$$

где:  $\alpha_s = \frac{E_s}{E_{cm}}$  – коэффициент приведения.

При полной разгрузке элемента, допускается значение ( $\varepsilon_{\alpha}$ ) не учитывать.

### 10.3.2 Расчет прочности наклонного сечения изгибаемого элемента.

Схемы наклейки ФАП хомутов приведены на рис. 10.3

При расчете должны быть рассмотрены следующие виды предельных состояний с целью проверки несущей способности сечений:

- наклонных к продольной оси элементов на действие поперечной силы по наклонной полосе между наклонными трещинами;
- на действие поперечной силы по наклонной трещине;
- на действие изгибающего момента по наклонной трещине.

1. Расчет прочности по бетонной полосе выполняют согласно п.7.2.2.11[13] по выражению:

$$V_{Sd} \leq V_{Rdmax} = 0.3 \cdot \eta_{w1} \cdot \eta_{c1} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (10.23)$$

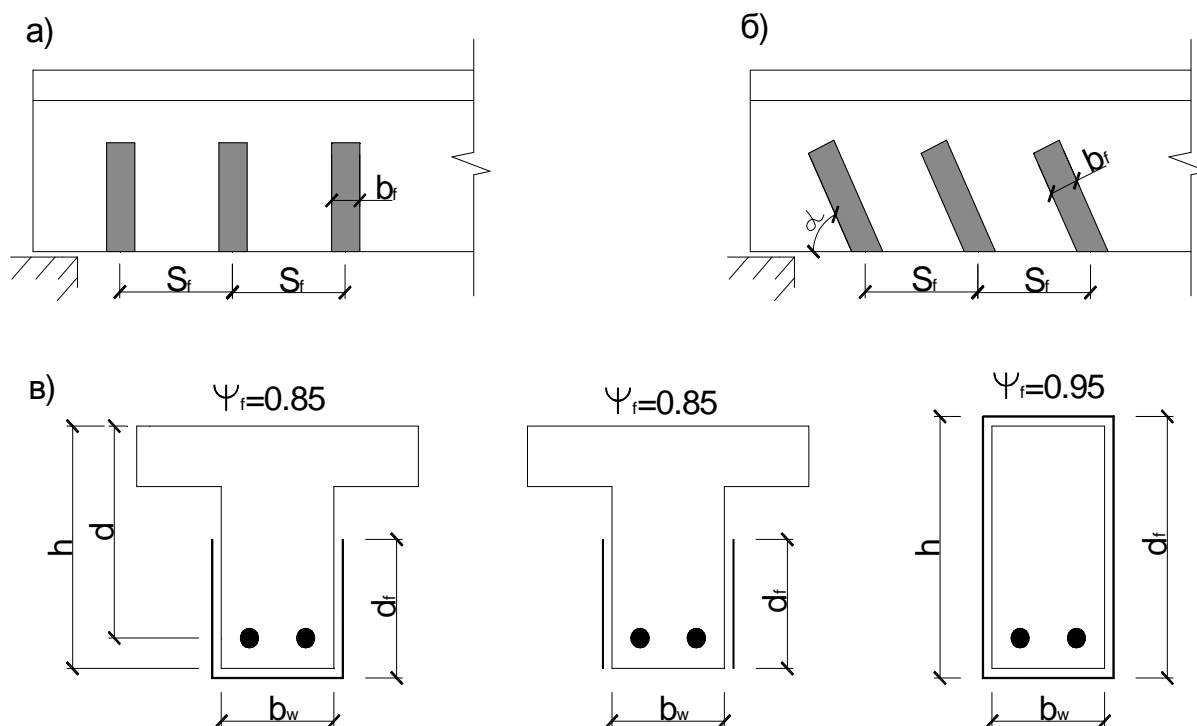
2. Расчет прочности наклонного сечения на действие поперечной силы выполняют согласно п.7.2.2.7 [13] по выражению:

$$V_{Sd} \leq V_{cd} + V_{sw} + V_{sinc} + V_f \cdot \psi_f \quad (10.24)$$

где:  $V_f$  – поперечная сила воспринимаемая ФАП хомурами;

$\psi_f$  – коэффициент запаса, зависящий от схемы наклейки ФАП хомутов: 0,95 – полностью обернутое сечение; 0,85 – двух- или трехсторонняя приклейка (см. рис.10.3).





**Рисунок 10.3 – Расположение ФАП хомутов при усилении наклонного сечения**

$$V_f = \frac{A_{fw} \cdot \sigma_{fw} (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d_f}{S_f} \quad (10.25)$$

где:  $A_{fw} = 2 \cdot n \cdot t_f \cdot b_f$ , мм<sup>2</sup> – площадь сечения хомутов ФАП;

Напряжения в хомутах ФАП будут зависеть от величины деформаций и схемы наклейки.

$$\sigma_{fu} = \varepsilon_{fu} \cdot E_{fd} \quad (10.26)$$

Максимальная деформация (из условия разрушения) принимается не более 0,4%.

$$\varepsilon_{fu} = 0,004 \leq 0,75 \cdot \varepsilon_{fd} \quad (10.27)$$

При использовании ФАП хомутов ( трех- и двухсторонних) расчетная деформация с учетом коэффициента запаса ( $K_V$ ) определяется

$$\varepsilon_{fu} = K_V \cdot \varepsilon_{fd} \leq 0.004 \quad (10.28)$$

Коэффициент запаса ( $K_V$ ) зависит от прочности бетона, схемы наклейки и жесткости ФАП элемента.

$$K_V = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot L_f}{11900 \cdot \varepsilon_{fd}} \leq 0.75 \quad (10.29)$$

Значение эффективной длины анкерования  $L_f$  найдем из выражения:

$$L_f = \frac{23300}{(n \cdot t_f \cdot E_{fd})^{0.58}} \quad (10.30)$$

Значения коэффициентов ( $K_1$  и  $K_2$ ) определяются:

$$K_1 = \left(\frac{f_{\alpha}}{27}\right)^{2/3} \quad (10.31)$$

$$K_2 = \frac{d_f - L_f}{d_f} \quad (\text{для трехсторонних хомутов}) \quad (10.32)$$

$$K_2 = \frac{d_f - 2 \cdot L_f}{d_f} \quad (\text{для двухсторонних хомутов}) \quad (10.33)$$

3. Расчет прочности наклонного сечения на действие изгибающего момента выполняются согласно п.7.2.2.12 [13].

$$M_{sd} \leq M_s + M_{sw} + M_f \quad (10.34)$$

Значение момента ( $M_f$ ) воспринимаемого ФАП хомутами определяется

$$M_f = \nu_f \cdot 0.5 \cdot I_{inc.c}^2 \quad (10.35)$$

При расчете следует учесть:

- работа продольных элементов ФАП в работе наклонного сечения не учитывается, т.к. они работают в зоне анкеровки.

### 10.3.3 Расчет сжатых элементов

Усиление может производиться как наклейкой ФАП в продольном направлении (по линии действия сжимающей нагрузки), так и в поперечном направлении (в виде отдельных замкнутых контуров, или сплошной оболочки).

1. Наклейка элементов ФАП вдоль линии действия нагрузки (восстановление утерянной или увеличение несущей способности).

Производится наклейка элементов ФАП по внешней поверхности.

Сечение элементов ФАП определяется:

$$A_f = \frac{f_{fk} \cdot E_{fk}}{A_{s1} \cdot f_{yd}} \cdot A_{sq} \quad (10.36)$$

где:  $A_{sq}$  – недостающая площадь сечения стальной арматуры.

При расчете необходимо учесть:

- коэффициент запаса  $\psi_f$  ;  
 - допускаемые напряжения в элементах ФАП из учета их жесткости и совместной работы с бетоном

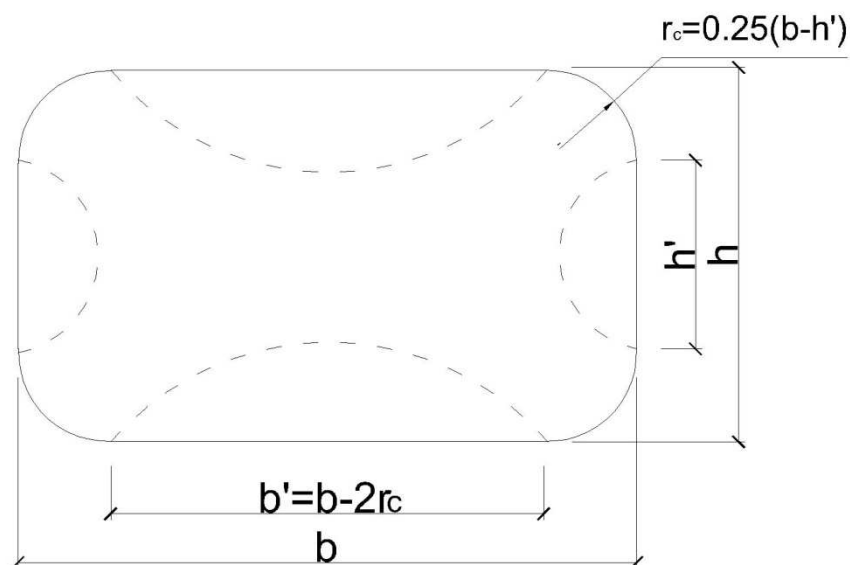
$$f_{fu} = \sigma_{fu} = \xi_{fu} \cdot E_{fd} = K_m \cdot \varepsilon_{fd} \cdot E_{fd} \quad (10.37)$$

2. Усиление наклейкой ФАП в поперечном направлении.

Экономически эффективным является усиление круглых сечений и прямоугольных с соотношением сторон не более 1,5. Эффективность воздействия обоймы из ФАП не учитывается при  $h/b > 1,5$  или при одном из размеров более 900 мм.

Коэффициент эффективности ( $K_a$ ) для прямоугольных сечений зависит от размеров сечения и степени армирования (см. рис.10.3), а для круглых –  $K_a=1$ .

$$K_a = \frac{(b - 2r_c)^2 + (h - 2r_c)^2}{3b \cdot h(1 - \rho \cdot I_s)} \quad (10.38)$$



**Рисунок 10.3 – Положение активных зон при усилении прямоугольных сечений колонн.**

Максимально возможная используемая деформация сжатия бетона ограниченная обоймой ФАП у круглого, квадратного или прямоугольного сечения определится при  $K_a=1$ .

$$\varepsilon_{cu} = \frac{1.715 \cdot f_{cd} - 4 \cdot f_{cd}}{E_{cm}} \quad (10.39)$$

Необходимая толщина оболочки ФАП

$$t_f \geq 0.5K_h \cdot \left( \frac{b \cdot h}{b + h} \right) \quad (10.40)$$

где:

$$K_h = \frac{0.8(\varepsilon_{cu} - 0.004) \cdot f_{c,yc}}{f_{fu} \cdot \varepsilon_{fu}} \quad (10.41)$$

при  $f_{c,yc} = 1.5f_{cd}$ ,  $\varepsilon_{cu} = 0.0035$ ,  $f_{fu}$  – максимальная прочность на растяжение композита,  $\varepsilon_{fu}$  – максимальная деформация ФАП.

Следует обеспечить выполнение условия:

$$f_{fu} = E_{fk} \cdot \varepsilon_{fk} \leq 0.75f_{fk} \quad (10.42)$$

Несущая способность бетона колонны усиленной ФАП

$$f_{\bar{n},\bar{on}} = f_{cd} \cdot \left( 2.254 \sqrt{1 + 558.18 \frac{f_l}{f_{cd}}} - 140.6 \frac{f_l}{f_{cd}} - 1.254 \right) \quad (10.43)$$

где:

$$f_l = 0,0038 \cdot K_1 \cdot f_{fd} \quad (10.44)$$

$$K_1 = 2f_f \frac{b + h}{b \cdot h} \quad (10.45)$$

3. Устройство обоймы из ФАП способствует ограничению поперечных деформаций бетона и росту продольных. При этом необходим плотный контакт ФАП с поверхностью бетона, а не сцепление.

Условие прочности для сжатого круглого железобетонного элемента со стальной поперечной арматурой (при  $e_0 \leq 0.1D$  и  $\lambda \leq 14$ ).

$$N_{sd} \leq N_{Rd} = 0.8\varphi \cdot \left[ 0.85\psi_f \cdot f_{cd} \cdot (A - A_s) + A_{s2} \cdot f_{yd} \right] \quad (10.46)$$

Тоже при наличии стальной спиральной арматуры

$$N_{sd} \leq N_{Rd} = 0.85\varphi \cdot \left[ \psi_f \cdot f_{cd} (A - A_s) + A_{s2} \cdot f_{yd} \right] \quad (10.47)$$

В расчете используют коэффициент запаса  $\psi_f = 0,95$ .

Прочность бетона в обойме:

$$f_{cd} = f_{cd} \cdot \left( 2.25 \cdot \sqrt{1 + 7.9 \frac{\sigma_{fd}}{f_{cd}}} - 2 \frac{\sigma_{fd}}{f_{cd}} - 1.25 \right) \quad (10.48)$$

Максимальное напряжение в обойме ФАП:

$$\sigma_{fd} = \frac{K_a \cdot \rho_f \cdot \sigma_{fu}}{2} = \frac{K_a \cdot \rho_f \cdot \varepsilon_{fe} \cdot E_{fd}}{2} \quad (10.49)$$

Расчетная деформация:

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75 \cdot \varepsilon_{fd} \quad (10.50)$$

Коэффициент армирования круглого сечения:

$$\rho_f = \frac{4n \cdot t_f}{2r} \quad (10.51)$$

Коэффициент армирования ФАП прямоугольного сечения:

$$\rho_f = \frac{2n \cdot t_f (b + h)}{b \cdot h} \quad (10.52)$$

### 10.3.4 Расчет растянутых элементов

При расчете усиления элементами ФАП используют следующие положения:

- элементы ФАП работают линейно-упруго, а напряжения определяют согласно закону Гука;
- уровень растяжения обеспечиваемый ФАП ограничивается расчетной прочностью ФАП и напряжениями сцепления;
- расчетная деформация элементов ФАП определяется с учетом критерия на сдвиг (значение  $K_1=1,0$ )
- минимальная длина сцепления д.б. не менее  $2L_f$ ;

Ниже приводится порядок расчета усиления для центрально растянутых элементов. Для внецентренно растянутых элементов с большим эксцентриситетом порядок расчета такой как для изгибаемых элементов.

$$N_{sd} \leq A_{s1} \cdot f_{yd} + A_f \cdot f_{fd} \cdot \psi_f \quad (10.53)$$

Расчетное сопротивление элемента ФАП:

$$f_{fd} = \sigma_{fu} = \varepsilon_{fe} \cdot E_{fd} \quad (10.54)$$

Допустимая деформация:

$$\varepsilon_{fe} = K_f \cdot \varepsilon_{fd} \leq 0.004 \quad (10.55)$$

Коэффициент запаса ( $K_f$ ) определяется:

$$K_f = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot L_f}{11900 \cdot \varepsilon_{fd}} \leq 0.75 \quad (10.56)$$

Длина эффективной анкеровки:

$$L_f = \frac{23300}{(n \cdot t_f \cdot E_{fk})^{0.58}} \quad (10.57)$$

Коэффициент  $K_1 = 1,0$ , а коэффициент  $K_2$  определяется в зависимости от вида наклейки ФАП.

$$K_2 = \frac{d_f - L_f}{d_f} \text{ — при оклейке сплошной лентой 4-х граней};$$

$$K_2 = \frac{d_f - 2 \cdot L_f}{d_f} \text{ — при оклейке отдельными лентами 2-х или 3-х граней}$$

Коэффициент запаса принимают  $\psi_f = 0,95$  (при сплошной оклейке 4-х граней одной лентой) и  $\psi_f = 0,85$  (при наклейке элементов ФАП отдельно по каждой грани).

#### 10.4 Конструктивные требования при проектировании усиления системой ФАП

Конструктивное решение элементов ФАП (форма, размеры, количество слоев, устройство анкера и т.д.) назначается при расчете. Например: максимальное количество слоев ограничивается расчетной силой сцепления с поверхностью основания.

Элемент ФАП (например: углеродная лента – ламинат) должна заводиться с целью анкеровки за пределы усиливаемой зоны на 100 мм или 200 мм, при прочности бетона основания на сжатие более 25 МПа и менее 25 МПа соответственно, и не менее 150 мм за точку “нулевого” момента для неразрезных балок.

С целью снижения концентрации усилий на участке анкеровки при многослойной наклейке пластин каждая последующая пластина д.б. короче предыдущей на  $2 \times 150 = 300$  мм.

При усилении наклонного сечения элементов, работающих по балочной схеме, вертикальные или наклонные хомуты выполняются из одного или двух кусков ленты и наклеиваются поверх продольной накладки нижнего пояса, чтобы обеспечить ее дополнительную анкеровку.

При наклейке продольных пластин по нижней грани изгибаемых элементов, они должны быть дополнительно охвачены вертикальными, из лент или ламината, хомутами с шагом 2,0...2,5 м.

Конструктивное решение элементов ФАП не должно препятствовать миграции влаги из тела бетона (например: наклейка выполняется с интервалом).

При невозможности обеспечить анкеровку элементов ФАП за счет приклеивания, устанавливают специальный анкер (изготавливают из отрезка ленты или ткани длиной 250...300 мм посредством удаления уточной (поперечной) нити на половине длины для образования волокнистого “венчика.” Целая часть “жесткая” часть анкерится в шпуре диаметром 16 мм и длиной 150...170 мм высверленном в массиве бетона, а “венчик” соединяют с рабочим элементом ФАП путем вдавливания нитей в матрицу пластика до отверждения смолы).

#### 10.5 Пример расчета усиления нормального сечения системой ФАП.

Исходные данные: изгибаемый элемент с поперечным сечением  $b=300$  мм,  $h=800$  мм,  $c=70$  мм, растянутая арматура  $6\varnothing 25$  S400 с  $A_{s1}=2945$  мм<sup>2</sup> ( $f_{yk}=390$  МПа,

$f_{yd}=355$  МПа), бетон класса  $C^{20}/_{25}$  ( $f_{cd}=\frac{20}{25}=13,33$  МПа), изгибающий момент  $M_{sd}=650$ кНм. Элемент эксплуатируется внутри помещения. Начальная деформация не учитывается.

Проверить прочность сечения и при необходимости запроектировать усиление из ламината – углепластик холодного отверждения со следующими характеристиками:  $f_{fk}=1400$  МПа,  $E_{fk}=120000$  МПа, расчетная толщина монослоя  $t_f=0.175$  мм.

1. Проверим прочность сечения:

$$d = 800 - 70 = 730 \text{ мм}$$

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{2945 \cdot 355}{13.33 \cdot 300} = 261.4 \text{ мм}$$

$$\text{т.к. } \xi = \frac{x}{d} = \frac{261.4}{730} = 0.358 < \xi_{lim}$$

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} (d - 0.5x) = 355 \cdot 2945 \cdot (730 - 0.5 \cdot 261.4) = 626.6 \text{ кНм} < 650 \text{ кНм}$$

Прочность нормального сечения не обеспечена, требуется выполнить усиление.

2. Для усиления на нижнюю поверхность балки наклеим один слой углеродной ткани шириной 300 мм. Расчетный модуль упругости  $E_{fk} = E_{fd} = 120000$  МПа. Предельная деформация растяжения:

$$\varepsilon_{fk} = \frac{f_{fk}}{E_{fk}} = \frac{1400}{120000} = 0.017$$

Коэффициент надежности по материалу  $\gamma_f = 1.1$ , коэффициент условий работы  $\gamma_E = 0.9$ . Расчетная прочность материала ( $f_{fd}$ ) усиления:

$$f_{fd} = \frac{\gamma_E \cdot f_{fk}}{\gamma_f} = \frac{0.9 \cdot 1400}{1.1} = 1145.5 \text{ МПа}$$

Расчетное значение деформаций растяжения:

$$\varepsilon_{fd} = \frac{\gamma_E \cdot \varepsilon_{fk}}{\gamma_f} = \frac{0.9 \cdot 0.017}{1.1} = 0.00957$$

$$n \cdot E_{fd} \cdot t_f = 1 \cdot 120000 \cdot 0.175 = 21000 < 180000$$

Коэффициент условий работы ФАП:

$$K_m = \frac{1}{60 \cdot \varepsilon_{fd}} \left(1 - \frac{n \cdot E_{fd} \cdot t_f}{360000}\right) = \frac{1}{60 \cdot 0.00957} \left(1 - \frac{21000}{360000}\right) = 1.64 > 0.9, \text{ принимаем}$$

$$K_m = 0.9.$$

Т.к. начальные деформации не учитываются, то

$$\varepsilon_{fu} = K_m \cdot \varepsilon_{fd} = 0.9 \cdot 0.00957 = 0.00861$$

Определим предельно допустимое расчетное значение прочности материала усиления:

$$f_{fu} = \sigma_{fu} = E_{fk} \cdot \varepsilon_{fu} = 120000 \cdot 0.00861 = 1033 \text{ МПа}$$

Определим предельное значение относительной высоты сжатой зоны бетона с учетом внешней арматуры:

$$\xi_{f.lim} = \frac{\omega}{1 + \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{c1} \cdot E_{fk}} \left(1 - \frac{\omega}{1.1}\right)} = \frac{0.743}{1 + \frac{1033}{0.002 \cdot 120000} \left(1 - \frac{0.743}{1.1}\right)} = 0.310$$

$$\omega = \alpha - 0,008 \cdot f_{cd} = 0.85 - 0.008 \cdot 13.33 = 0.743$$

Площадь сечения внешней арматуры:

$$A_f = n_f \cdot b_f \cdot t_f = 1 \cdot 300 \cdot 0.175 = 52.5 \text{ мм}^2$$

Высота сжатой зоны определится:

$$x_f = \frac{f_{fu} \cdot A_f + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{1033 \cdot 52.5 + 355 \cdot 2945}{1 \cdot 13.33 \cdot 300} = 275.0 \text{ мм}$$

т.к.  $\xi_f = \frac{x_f}{h} = \frac{275}{800} = 0.344 > \xi_{f.lim} = 0.310$  напряжение во внешней арматуре

меньше расчетного. Найдём их.

$$\sigma_f = \frac{\varepsilon_{c1} \cdot E_{fk}}{1 - \frac{\omega}{1.1}} \cdot \left(\frac{\omega}{\xi_{f.lim}} - 1\right) = \frac{0.002 \cdot 120000}{1 - \frac{0.743}{1.1}} \cdot \left(\frac{0.743}{0.31} - 1\right) = 954 \text{ МПа}$$

$$\Delta = \frac{\sigma_f - f_{fu}}{f_{fu}} = \frac{954 - 1033}{1033} = -7.6\%, \text{ т.к. } \Delta < 10\%, \text{ принимаем } \sigma_f = 954 \text{ МПа}.$$

Определим  $M_{Rd,f}$

$$\begin{aligned} M_{Rd,f} &= A_f \cdot \sigma_f (h - 0.5x) + A_{s1} \cdot f_{yd} (d - 0.5x) = \\ &= 52.5 \cdot 954 \cdot (800 - 0.5 \cdot 275) + 2945 \cdot 355 \cdot (770 - 0.5 \cdot 275) = \\ &= 33.181 + 661.26 = 694.44 \text{ кНм} > 650 \text{ кНм} \end{aligned}$$

Прочность сечения обеспечена.

## 10.6 Пример расчета усиления наклонного сечения системой ФАП

Исходные данные: изгибаемый элемент – балка перекрытия с размерами поперечного сечения  $b=200$  мм,  $h=400$  мм,  $d=370$  мм, бетон тяжелый класса  $C^{20/25}$  ( $f_{cd} = \frac{20}{25} = 13,33$  МПа), поперечная арматура – двухветвевые хомуты  $2\text{Ø}8$  S240 ( $A_{sw}=101$  мм<sup>2</sup>, шаг  $S_w=150$  мм,  $f_{ywd}=240 \cdot 0.8/1.1=174.5$  МПа), постоянная нагрузка  $q_d=20$  кН/м.п., временная нагрузка  $V_d=36$  кН/м.п., поперечная сила на опоре  $V_{sd}=154$  кН.

Проверить прочность наклонного сечения, а при необходимости усиления использовать углепластик холодного отверждения и волокон со следующими характеристиками:  $f_{fk}=4800$  МПа,  $E_{fk}=230000$  МПа,  $t_f=0.167$  мм.

1. Проверим прочность наклонного сечения:

$$V_{Rd} = V_{cd} + V_{sw} = 45.77 + 81.40 = 127.17 \text{ кН}$$

$$V_{cd} = \frac{\eta_{c2} \cdot (\eta_f \cdot \eta_N + 1) \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d^2}{l_{inc}} = \frac{2 \cdot (1) \cdot 1.03 \cdot 200 \cdot 370^2}{3.33 \cdot 370} = 45.77 \text{ кН}$$

$$f_{ctd} = (0.21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}) / \gamma_e = (0.21 \cdot \sqrt[3]{20^2}) / 1.5 = 1.03 \text{ МПа}$$

$$V_{sw} = v_{sw} \cdot I_{inc.cr} = 117.5 \cdot 692.8 = 81403H = 81,40кН$$

$$v_{sw} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yud}}{S_w} = \frac{101 \cdot 174.5}{150} = 117.5H / ммл.$$

$$I_{inc.cr} = \sqrt{\frac{\eta_{c2} \cdot (1 + \eta_f + \eta_N) \cdot f_{\alpha d} \cdot b_w \cdot d^2}{V_{sw}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot (1) \cdot 1.03 \cdot 200 \cdot 370^2}{117.5}} = 692.8мм < 2d = 740мм$$

$$V_{sd} = 154кН > V_{Rd} = 127.17кН$$

Условие не выполняется, требуется усиление наклонного сечения.

2. Расчет усиления.

Принимаем трехсторонние (U – образные) хомуты из однонаправленной углеродной ткани в один слой наклеиваемые под углом  $\alpha = 90^\circ$ . По результатам испытания композитного материала из ткани с заданными волокнами (объемное содержание 60%) по методике ГОСТ 22.601-80 к расчету принимаем следующие характеристики: предел прочности при растяжении  $f_{fk} = 2700МПа$ , относительное удлинение при разрыве  $\delta = 2.2\%$ , модуль упругости  $E_{fk} = 125000МПа$ .

Расчетная прочность материала ФАП:

$$f_{fd} = \frac{\gamma_E \cdot f_{fk}}{\gamma_f} = \frac{0.9 \cdot 2700}{1.1} = 2209МПа$$

Расчетное значение деформаций при растяжении:

$$\varepsilon_{fd} = \frac{\gamma_E \cdot \delta}{\gamma_f} = \frac{0.9 \cdot 0,022}{1.1} = 0.018$$

Расчетный модуль упругости:

$$E_{fk} = E_{fd} = 125000МПа$$

Хомуты приклеиваем на всю высоту балки, т.е.  $d_f = d = 370мм$ , а значение  $\psi = 0,85$ . Количество слоев –  $n=1$ , ширина ленты  $b_f = 100мм$ . Площадь поперечного сечения ФАП хомутов:

$$A_{fw} = 2 \cdot n \cdot t_f \cdot b_f = 2 \cdot 1 \cdot 0.167 \cdot 100 = 33.4мм^2$$

Эффективная длина анкеровки:

$$L_f = \frac{23300}{(n \cdot t_f \cdot E_{fk})^{0.58}} = \frac{23300}{(1 \cdot 0.167 \cdot 125000)^{0.58}} = 72.8мм$$

Коэффициент ( $K_1$ ):

$$K_1 = \left(\frac{f_{\alpha d}}{27}\right)^{2/3} = \left(\frac{13.33}{27}\right)^{2/3} = 0.624$$

Коэффициент ( $K_2$ ) для трехстороннего хомута:

$$K_2 = \frac{d_f - L_f}{d_f} = \frac{370 - 72.8}{370} = 0.803$$



Коэффициент запаса ( $K_f$ ) определится:

$$K_f = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot L_f}{11900 \cdot \varepsilon_{fd}} = \frac{0.624 \cdot 0.803 \cdot 72.8}{11900 \cdot 0.018} = 0.170$$

Предельно допустимые деформации:

$$\varepsilon_{fu} = K_f \cdot \varepsilon_{fd} = 0.17 \cdot 0.018 = 0.00306$$

Расчетное значение допустимых напряжений в ФАП хомутах:

$$\sigma_{fu} = \varepsilon_{fu} \cdot E_{fd} = 0.00306 \cdot 125000 = 450 \text{ МПа}$$

Поперечная сила воспринимаемая ФАП хомутами:

$$\psi_f \cdot V_f = \psi_f \frac{A_{fw} \cdot \sigma_{fu} (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d_f}{S_f} = \frac{0.85 \cdot 33.4 \cdot 450 \cdot 1 \cdot 370}{150} = 31.51 \text{ кН}$$

Проверим условие

$V_{sd} = 154 \text{ кН} < V_{Rd} = 45.77 + 81.40 + 31.51 = 158.68 \text{ кН}$ . Условие выполняется, прочность наклонного сечения по поперечной силе обеспечена.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите достоинства и недостатки усиления материалами ФАП.
2. Какие можете назвать композитные материалы используемые при усилении?
3. Сформулируйте исходные положения по расчету усиления элементами ФАП.
4. Какие варианты достижения предельного состояния усиленного нормального сечения изгибаемого элемента должны рассматриваться?
5. Каким принимается расчетное сопротивление растяжению для ФАП при расчете и почему?
6. Какие варианты усиления наклонного сечения используют на практике?
7. Объясните механизм включения в работу усиления из ФАП сжатых элементов.
8. Почему при усилении сжатых элементов используют оболочки из ФАП?
9. Какие конструктивные требования используют при проектировании усиления композитными материалами?
10. Как обеспечивается анкеровка элементов ФАП при усилении?

## ТЕМА №11. УСИЛЕНИЕ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 11.1 Необходимость усиления кирпичной кладки (см. с. 98-105 [26])
- 11.2 Определение характеристик материалов кладки (см. с. 101-112 [33])
- 11.3 Учет дефектов и повреждений при расчете (см. с. 12-16 [42])
- 11.4 Проверочный расчет конструкций из каменных материалов

### 11.1 Необходимость усиления кирпичной кладки

Необходимость усиления кирпичной кладки определяется как в результате обследования (фактическое состояние, характеризующееся видом, положением, размером и количеством дефектов и повреждений), так и проверочного расчета (с учетом фактических или предполагаемых после реконструкции нагрузок).

При обследовании выполняют:

- фиксацию дефектов (вид, размер, положение) и составляют схемы дефектов на чертежах объекта;

- определяют фактические размеры, расчетные схемы, нагрузки и характеристики материалов.

Производится анализ полученных материалов с оценкой дефектов:

- по происхождению: низкое качество работ или материалов, ошибки проектирования и нарушения проекта;

- по времени возникновения: при строительстве, из-за отсутствия консервации, при эксплуатации до и после нормативного срока;

- по виду: явные, скрытые, основного материала или отделочных слоев;

- по причинам: в результате увлажнения, перегрузки, деформации основания;

- по возможности устранения: устранимые и неустраняемые.

При обследовании ряд дефектов может сразу свидетельствовать о предаварийном состоянии конструкции:

- повреждение сечения кладки на 50% и более;

- силовые трещины раскрытием более 20мм, пересекающие более 8 рядов кладки;

- вертикальные и наклонные трещины под опорами, пересекающие более 4 рядов кладки;

- краевые (локальные) повреждения кладки под опорой на глубину более 0,2l

В процессе анализа устанавливается и степень влияния несоответствия на прочность кладки:

- незначительная прочность кладки снижается до 5%, усиление не требуется;

- слабая – до 15%, усиление требуется при наличии трещин;

- средняя – до 25% , усиление обязательно;

- сильная – до 50%, усиление обязательно;

- аварийная – более 50%, проводят противоаварийные мероприятия, усиление или замена – по результатам технико-экономического обоснования.

Например. Наличие трещин в кирпичной кладке может быть учтено снижением предельного сопротивления кладки коэффициентом  $K_{mc.1}$  (см. табл. 11.2)

Проверяется условие:

$$N_{sd} \leq N_{Rd} (R, K_{mc.1}) \quad (11.1)$$

Степень повреждения определяется коэффициентом запаса (K).

$$K = \frac{N_{Rd}(\bar{R}, K_{пр.1})}{N_{sd}} \quad (11.2)$$

где  $N_{sd}$ ,  $N_{Rd}$  - расчетное значение воздействия на кладки и предельное значение, воспринимаемое кладкой, соответственно.

Состояние предаварийное при  $K < C = 1,7$  (неармированная кладка). Состояние предаварийное при  $K < C = 1,5$  (армированная кладка). При определении коэффициента (K) используют среднее значение прочности кладки  $\bar{R} = 2R$

### 11.2 Определение характеристик материалов кладки

Определение фактического состояния (уровня напряжений) кладки предполагает знание характеристик кирпича и раствора на момент обследования (расчета).

Условная марка кирпича  $M'_k$  определяется по результатам испытания отобранных из кладки 5 кирпичей на изгиб и 5 сдвоенных половинок (или целых) кирпичей на сжатие по ГОСТ 8462-85. Допускается определять прочность кирпича ультразвуковым методом, если отбор образцов из кладки затруднен.

$$R_{ок.i} = \frac{P}{A}; \quad R_{изг.i} = \frac{3Pl}{2bh^2}; \quad \bar{R}_i = \frac{1}{n} \cdot \sum R_i; \quad (11.3)$$

где: n – количество испытаний;

b, h – размеры поперечного сечения кирпича;

A – площадь сечения образца-двойки;

L – расстояние между опорами;

P – разрушающая нагрузка.

Условная марка раствора  $M'_p$  определяется испытанием 5 образцов-кубиков ребром 30...40 мм, склеенных гипсовым раствором из пластинок раствора, отобранных из кладки. За условную марку принимается 70% среднего значения результатов испытания.

Расчетное сопротивление кладки определяют по условным маркам кирпича и раствора, по линейной интерполяции между ближайшими значениями расчетного сопротивления кладки из таблицы 2[11] согласно алгоритма (11.4) и рис. 11.1.

$$R = R_{(i-1)(\gamma-1)} + X_{ок \Delta} \cdot R_1 + X_{P \Delta} [R_2 + X_{ок \Delta} (R_3 - R_1)] \quad (11.4)$$

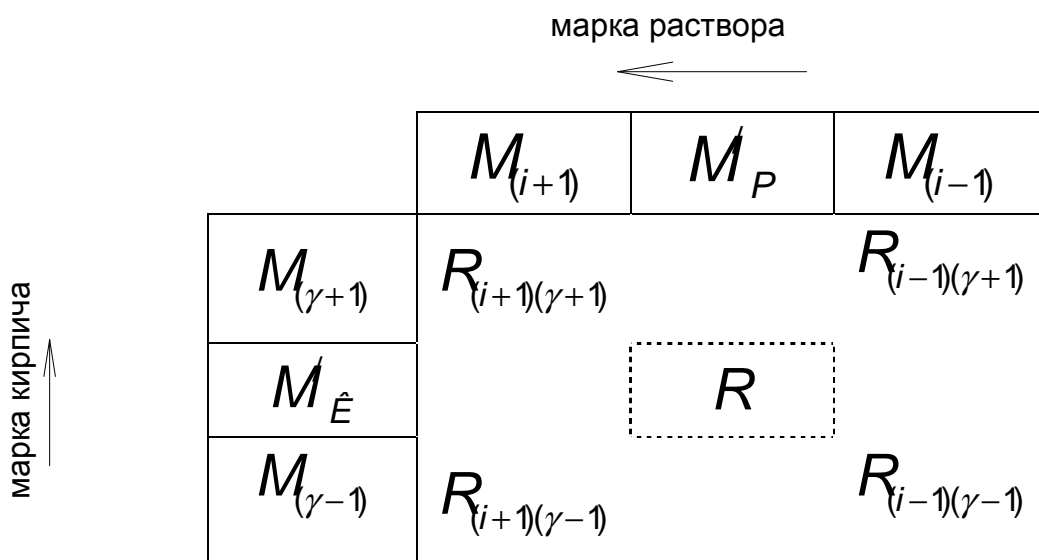
$$X_{ок} = \frac{M'_k - M_{(i-1)}}{M_{(i+1)} - M_{(i-1)}}; \quad X_P = \frac{M'_p - M_{(i-1)}}{M_{(i+1)} - M_{(i-1)}}$$

$$\Delta R_1 = R_{(j-1)(\gamma+1)} - R_{(j-1)(\gamma-1)}; \quad \Delta R_2 = R_{(j+1)(\gamma-1)} - R_{(j-1)(\gamma-1)};$$

$$\Delta R_3 = R_{(j+1)(\gamma+1)} - R_{(j+1)(\gamma-1)};$$

где  $M'_k$  и  $M'_p$  - условная марка кирпича, раствора;

R – расчетное сопротивление кладки.



**Рисунок 11.1 – Схема определения расчетного сопротивления кирпичной кладки по результатам испытания образцов.**

Допускается определение характеристик кирпичной кладки и по другой методике с определением характеристик неразрушающими методами.

Нормативные сопротивления материалов

$$R_{km} = \bar{R}_k(1 - 1.64V_k) \quad (11.5)$$

$$R_{pm} = \bar{R}_p(1 - 1.64V_p) \quad (11.6)$$

Нормативное сопротивление кирпичной кладки с обеспеченностью 0,95.

$$R_{кл.к} = \eta \cdot A \cdot R_{km} \left( 0.42 + \frac{0.37R_{pm}}{R_{km}} \right) \quad (11.7)$$

где  $\bar{R}_k$  и  $\bar{R}_p$  - среднее значение прочности на сжатие кирпича и раствора на участке, полученные при испытании;

$V_k$  и  $V_p$  - соответственно коэффициенты вариации (изменчивости) результатов испытания кирпича и раствора;

$A = 0.626 - 0.001R_{km}$  - эмпирический коэффициент;

$\eta$  - поправочный коэффициент, принимаемый

$$\eta = 1 \text{ при } R_{pm} \geq 0.04R_{km}$$

$$\text{и } \eta = 0.8 + 5.71 \frac{R_{pm}}{R_{km}} \text{ при } R_{pm} < 0.04R_{km}$$

Расчетное сопротивление кладки

$$R = \frac{R_{кл.к}}{\gamma_{кл.с}} \quad (11.8)$$

где  $\gamma = 1.5$  – коэффициент надежности.

Расчетные сопротивления кладки по неперевязанному определяются в зависимости от прочности сечения на осевое растяжение по неперевязанному сечению:

- прочность кладки по неперевязанному сечению на осевое растяжение

$$R_{tk} = 0.17 \sqrt{R_{pm}} \quad (11.9)$$

- осевому растяжению  $R_t = 0.45 R_{tk} \quad (11.10)$

- срезу  $R_{sq} = 0.7 R_{tk} \quad (11.11)$

- растяжению при изгибе (главные растягивающие напряжения при изгибе)

$$R_{tb} = 0.8 R_{tk} \quad (11.12)$$

Отдельно остановимся на испытании кирпича и раствора неразрушающими методами. Ниже дан алгоритм расчета.

1. Среднее значение прочности кирпича (раствора)

$$\bar{R}_x (\bar{R}_p) = \sum_{i=1}^n R_i / n \quad (11.13)$$

$\bar{R}_i$  - прочность кирпича (раствора)<sup>1</sup> на участке.

$n$  - количество участков контроля.

2. Среднеквадратическое отклонение значения прочности

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} \quad (11.14)$$

3. Коэффициент вариации (изменчивости) параметра

$$V_x = S_x / \bar{R} \quad (11.15)$$

При расчете среднего значения прочности ( $\bar{R}_p$ ) контролируется отклонение случайной величины от абсолютного (допустимого) для данной выборки отклонения.

$$\Delta = 0.6745 \cdot k \cdot S_x \quad (11.16)$$

Если фактическое отклонение больше  $\pm(R_i - \bar{R}_p) > \Delta$  (или меньшее) значение отбрасывают, а расчет повторяют.

4. Проверяется достаточность принятого объема выборки (т.е количества испытаний).

$$N = 170 \cdot V_x^2 \leq 18 \quad (11.17)$$

где  $V_x$  - большее значение из  $V_k$  и  $V_p$

Если значение  $N > 18$ , проводят дополнительные испытания в количестве (объёме) равном  $N$  и все расчеты повторяют.

Значение коэффициента  $K$  определяется по таблице 11.1

Таблица 11.1 Числовые значения коэффициента К.

n	4	8	14	18	22	26	30	40
k	2,29	2,76	3,12	3,26	3,38	3,47	3,55	3,70

### 11.3 Учет дефектов и повреждений при расчете

Кирпичная кладка представляет собой многослойную конструкцию, оценка поведения которой под нагрузкой представляет собой сложную задачу. Поэтому как при выполнении проверочных расчетов, так и расчетов усиленной конструкции следует учитывать имеющиеся место дефекты и повреждения. Это связано не только с определением фактического состояния кладки на момент обследования, но и с моделированием условий её длительной эксплуатации.

Наличие трещин в кладке учитывается коэффициентом  $K_{тс.1}$  при определении предельного сопротивления кладки (см. табл.11.1).

Таблица 11.2. Значения коэффициента  $K_{тс.1}$ 

№ п/п	Характеристики дефекта	К <sub>тс.1</sub> для кладки	
		неармированный	армированный
1	Трещины в отдельных кирпичах	1.0	1.0
2	Трещины, пересекающие не более 2 рядов	0.9	1.0
3	Тоже не более 4 рядов и не менее 3 тр/м.	0.75	0.9
4	Тоже не более 8 рядов и не менее 4 тр/м с $W_K \leq 2$ мм	0.5	0.7
5	Тоже более 8 рядов и более 4 тр/м ширины	0	0.5

Повреждение кладки опор строительных конструкций при выполнении проверочных расчетов учитывается коэффициентом  $K_{тс.3}$  (см. табл. 11.3).

Таблица 11.3. Значения коэффициента  $K_{тс.3}$ 

№ п/п	Характеристики дефекта	К <sub>тс.3</sub> для кладки	
		неармированный	армированный
1	Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 20мм или образование вертикальных трещин по концам конструкции (L=150...180мм)	0,75	0,9
2	Тоже при L=300...350мм	0,5	0,5
3	Краевое повреждение кладки на глубину более 20мм и длине более 350мм	0	0,5

Нарушения технологии производства работ, снижающие несущую способность кладки, учитываются коэффициентом  $K_{тс.2}$  (см. табл. 11.4) .

Таблица 11.4 Значения коэффициента  $K_{тс.2}$ 

№ п/п	Характеристики дефекта	$K_{тс.2}$
1	Нет перевязки (тычковых рядов) кладки: - в 5-6 рядах (400...450мм); - в 8-9 рядах (600...650мм); - в 10-11 рядах (750...800мм).	1,0 0,9 0,75
2	Нет заполнения раствором вертикальных швов.	0,9
3	При толщине горизонтальных швов более 20мм (3...4 шва на 1 м высоты кладки) - при марке раствора менее М25; - при марке раствора М25...М50; - при марке раствора более М50.	0,8 0,9 1,0

Повреждения кладки при огневом воздействии (пожар) учитывается при выполнении проверочных расчетов коэффициентом  $K_{тс.4}$  (см. табл. 11.4).

Таблица 11.5. Значения коэффициента  $K_{тс.4}$ .

№ п/п	Глубина повреждения кладки (без учета штукатурки)	$K_{тс.4}$ для стен и простенков при $\partial \geq 380$ мм и нагреве		$K_{тс.4}$ для столбов при $\partial \geq 380$ мм
		одностороннее	двухстороннее	
1	до 5 мм	1,00	0,95	0,90
2	до 20 мм	0,95	0,90	0,85
3	до 50...60 мм	0,90	0,80	0,7

При расчете учитываются фактические: размеры, характеристики материалов, расчетная схема, борозды, отверстия и т.д.

#### 11.4 Проверочный расчет конструкции из каменных материалов.

Рассмотрим пример расчета. При обследовании установлено, что кирпичная колонна сечением 510×510 мм и высотой 6,0 м имеет следующие дефекты. В результате пожара поверхность кладки повреждена на глубину до 20 мм. Необходимо проверить несущую способность кладки при следующих исходных данных: значение действующей нагрузки  $N_{sd}=190$  кН (нагрузка приложена через железобетонную распределительную подушку центрально), расчетное сопротивление кладки  $R=0,9$  МПа.

Проверяем условие

$$N_{sd} \leq N_{rd} = m_{\gamma} \cdot \varphi \cdot R \cdot A \cdot K_{тс.4}$$

$m_{\gamma}=1$ , согласно п.4.7[11], т.к.  $b(\alpha) > 30$ см

$A=(510-20)(510-20)= 220900$  мм<sup>2</sup>

$\varphi = 0,766$  – коэффициент продольного изгиба по табл.18 с учетом

$$\lambda_n = \frac{l_0}{h} = \frac{H}{h} = \frac{600}{48} = 12,5 \text{ и упругой характеристики кладки } \alpha = 750 \text{ (клад-$$

ка из глиняного кирпича, марка раствора 10).

$$N_{sd} = 190 > N_{rd} = 1,0 \cdot 0,766 \cdot 0,9 \cdot 220900 \cdot 0,85 = 129445,2 \text{ Н} = 129,95 \text{ кН}$$

Условие не выполняется, требуется снижение нагрузки или усиление конструкции.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Назовите причины снижения прочности кирпичной кладки.
2. С какой целью составляются схемы дефектов при обследовании?
3. Можно ли (и как) оценить техническое состояние кирпичной кладки?
4. Какие цели преследуют, анализируя имеющиеся дефекты и повреждения?
5. Как определить необходимость усиления конструкции из кирпича?
6. Как определяется марка кирпича при обследовании?
7. Как определяется марка раствора при обследовании?
8. Приведите примеры дефектов или повреждений и методику их учета при выполнении проверочного расчета.
9. Какие факторы учитывают при принятии решения об усилении конструкции?
10. Всегда ли выполняют усиление конструкции, если её несущая способность недостаточна?



## ТЕМА №12. РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 12.1 Методы усиления каменных конструкций (см. с. 166-211 [26])
- 12.2 Усиление обоймой из металла (см. с. 31-33 [37])
- 12.3 Пример расчета усиления кирпичного столба металлической обоймой
- 12.4 Усиление обоймой из железобетона (см. с. 33-35 [37])
- 12.5 Пример расчета усиления железобетонной обоймой кирпичной стены
- 12.6 Усиление растворной армированной обоймой

### 12.1 Методы усиления каменных конструкций

Практически всегда изменение технического состояния кирпичной кладки сопровождается появлением и развитием трещин. Их появление связано как с прямым основным воздействием, так и с косвенным (неравномерные осадки). Дополнительными факторами являются: физическое разрушение (износ) элементов кирпичной кладки, направление, количество и раскрытие трещин, характер воздействия (общее, локальное и т.д.). В любом случае необходим анализ причин появления отклонения, возможность его устранения и выбор способа восстановления или усиления конструкции. (см. рис. 12.1).



**Рисунок 12.1 – Классификация способов усиления конструкций из каменных материалов**

При восстановлении кирпичной кладки используют: оштукатуривание, инъектирование трещин, частичную (полную) перекладку. При усилении кирпичной кладки применяют: накладки; наращивание или обоймы; усиление узлов сопряжения (затяжки, шпонки, гибкие связи); для увеличения пространственной жесткости всего здания при неравномерной осадке – гибкие и жесткие стальные пояса, а при надстройке – стальные, железобетонные или армокаменные пояса; усиление перемычек над проемами (перекладка, замена, усиление).

Одновременно с усилением стен рекомендуется восстановить целостность кирпичной кладки инъецированием трещин. Забуривают скважины (шпуры) диаметром от 10мм. до 20мм., на 3/4 толщины стены, в которые под давлением до 0,6МПа нагнетается раствор. При раскрытии трещин до 1,5мм. применяют полимерные растворы на основе эпоксидной смолы (например: эпоксидная смола ЭД-20 или ЭД-16-100 мас.ч; модификатор МГФ9-30 мас.ч; отвердитель ПЭПА-15мас.ч; тонко-молотый песок 50 мас.ч) или цементно-песчаные растворы (например: цемент-1мас.ч; суперпластификатор-нафталиноформальдегид-0.1 мас.ч; тонкопомотый песок-0.25 мас.ч; водоцементное отношение-0.6). При раскрытии трещин более 1.5мм используют цементно-полимерные растворы (например: состав 1:0.15:0.3 – цемент: полимер ПВА: песок) или цементно-песчаный раствор (например: состав 1:0.15:0.3 – цемент: пластификатор-нитрит натрия: песок с  $M_k=1.0$  при  $V/C=0.6$ ). С целью увеличения подвижности раствора используют пластифицирующие добавки: нитрит натрия – до 5% от массы цемента; нафталиноформальдегид – 0.1% от массы цемента; поливинилацетатная эмульсия ПВА с полимерцементным отношением  $P/C=0.6$ . В том случае, если инъецирование кирпичной кладки выполнено со стабилизовавшимися силовыми или осадочными трещинами, расчетное сопротивление кладки принимается с учетом поправочного коэффициента ( $m_k$ ):  $m_k = 1$  – трещины из-за неравномерной осадки;

$m_k = 1.1$  – трещины от силовых воздействий, инъецирование цементным раствором;

$m_k = 1.3$  – трещины от силовых воздействий, инъецирование полимерным раствором;

## 12.2. Усиление обоймой из металла

Усиление каменных конструкций, простенков работающих как на центральное сжатие так и на внецентренное (при эксцентриситете приложения нагрузки не выходящим за пределы ядра сечения) чаще выполняют устройством стальной обоймы. (см. рис. 12.2 ).

Проверяется условие

$$N_{sd} \leq \chi \cdot \varphi \left[ (m_q \cdot m_k \cdot R + \eta \frac{25\mu_{ad}}{1 + 25\mu_{ad}} \cdot \frac{f_{ywd,ad}}{100}) A + R_{y,ad} \cdot A_{s,ad} \right] \quad (12.1)$$

где  $N_{sd}$  - продольная сила, действующая в сечении;

$A$  - площадь поперечного сечения усиливаемой кладки;

$A_{s,ad}$  - площадь сечения вертикальных уголков;

$R$  - расчетное сопротивление кирпичной кладки;

$R_{y,ad}$  - расчетное сопротивление металла уголков;

$f_{ywd,ad}$  - расчетное сопротивление металла планок;

$\varphi$  - коэффициент продольного изгиба (см. п.4.2[11]);

$m_q$  - коэффициент учета длительности действия нагрузки;

$m_k$  - коэффициент учитывающий условия работы кладки (наличие повреждений):

$m_k = 1$  - при отсутствии трещин;  $m_k = 0.7$  - при наличии трещин;

$\mu_{ad}$  - процент содержания поперечной арматуры (здесь в виде планок);

$$\mu_{ad} = \frac{V_s}{V_c} \cdot 100\% \quad (12.2)$$

$$\mu_{ad} = \frac{2 \cdot A_{sw,ad} \cdot (b_{эл} + h_{эл})}{h \cdot b \cdot S_{ad}} \cdot 100\% \quad (12.3)$$

где  $b_{эл}$  - размеры поперечного сечения элемента (планки);

$A_{sw,ad}$  - площадь поперечного сечения одной планки;

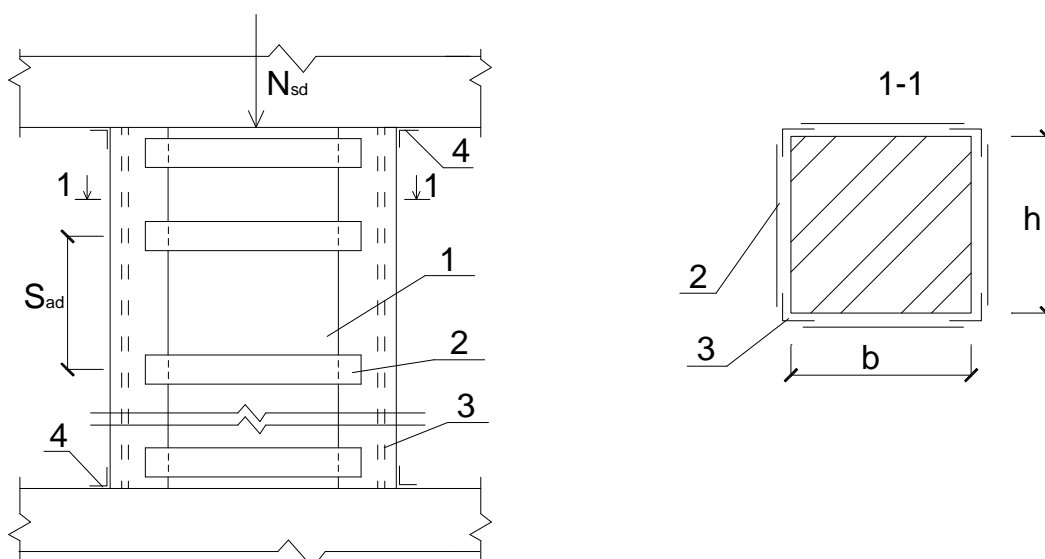
$S_{ad}$  - расстояние между осями планок;

$\psi$  и  $\eta$  - коэффициенты, принимаемые при центральном сжатии -  $\psi = 1$ ,  $\eta = 1$ , а при внецентренном сжатии по формулам

$$\psi = 1 - \frac{2e_0}{h}; \quad \eta = 1 - \frac{4e_0}{h} \quad (12.4)$$

Как при проектировании, так и при выполнении работ следует учесть следующие особенности:

- продольные уголки следует принимать не менее 50x50 мм (равнобокие);
- планки принимать сечением не менее 50x5 мм с шагом не более меньшего размера поперечного сечения элемента и не более 500 мм;
- включение обоймы в работу достигается или преднапряжением планок посредством нагрева до 100..120°C и приваркой к вертикальному уголку в нагретом состоянии или с использованием струбцин, обеспечивающих плотный контакт уголков с поверхностью кладки;
- все элементы усиления из металла должны быть защищены от коррозии окраской и слоем цементно-песчаного раствора (штукатурки) толщиной 25..30 мм.



1 – столб, 2 – планки 3 – уголок, 4 – опорный уголок

**Рисунок 12.2 – Усиление кирпичного столба обоймой из металла**

Площадь сечения уголков определяется из условия (12.1), а шаг планок принимают не более  $40i$  ( $i$  - радиус инерции принятого уголка). Сечение планок и свар-

ные швы для их крепления к уголкам проверяются. Момент сопротивления планки определится:

$$W = \frac{M_{sd} \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c} \leq \frac{t_{пл} \cdot d_{пл}^2}{6} \quad (12.5)$$

где  $t_{пл}$  и  $d_{пл}$  толщина и ширина планки (при этом  $d > 0.75b$ , где  $b$  - размеры уголка);

$\gamma_n$  - коэффициент учета здания по назначению;

$\gamma_c$  - коэффициент условия работы.

$M_{sd}$  - изгибающий момент, воспринимаемый планкой;

$$M_{sd} = \frac{V_{sd} \cdot S}{2} = \frac{0.5 \cdot V_{fic} \cdot S}{2}; \quad (12.6)$$

где  $V_{fic} = 0.20 \cdot A_{s,ad}$ , кН – фиктивное значение поперечной силы;

$A_{s,ad}$  - площадь сечения одного уголка;

Проверка прочности сварного шва производится в следующей последовательности. Должно выполняться условие

$$\sigma_{эл} = \sqrt{\tau^2 + \sigma^2} \leq R_{cb} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_w; \quad (12.7)$$

Касательные напряжения определяются

$$\tau = \frac{F}{k_f \cdot \beta_f \cdot d_{пл}}; \quad (12.8)$$

где усилие среза планки:

$$F = \frac{V_{fic} \cdot b}{S_{ad}}; \quad (12.9)$$

$b$  - расстояние между центрами тяжести уголков:  $b = b_{эл} + 2 \cdot z$ ;

$b_{эл}$  - ширина усиливаемого элемента;

$z$  - расстояние от ц.т. уголка до грани пера.

Нормальные напряжения определяются

$$\sigma = \frac{M_{sd}}{W_f}; \quad (12.10)$$

где  $W_f = \beta_f \cdot k_f \cdot d_{пл}^2 / 6$ , мм<sup>3</sup>

В зависимости от условий эксплуатации принимаются меры по обеспечению долговечности элементов усиления (окраска, защитная штукатурка с арматурной сеткой или без и т.д.).

### 12.3 Пример расчета усиления кирпичного столба металлической облойкой

Центрально сжатый кирпичный столб прямоугольного поперечного сечения с размерами  $b \times h = 510 \times 1020$  мм, высотой  $H = 5.4$  м из обыкновенного глиняного

кирпича пластического формования. На поверхности кладки имеются волосяные трещины силового характера, пересекающие (длина) до 4 рядов кирпича. Действующая нагрузка (расчетное значение) -  $N_{sd} = 750$ кН. Требуется проверить прочность кладки.

1. Определение характеристик кладки. Выполнено испытание образцов кирпича и раствора. Результаты испытания кирпича  $R$ : 11.2 МПа, 12.7 МПа, 14.8 МПа,

13.8 МПа, 14.9 МПа. Среднее значение прочности  $R_m = 13.5$ МПа. Для принятия окончательного решения проверяем условие

$$(R_{\max} - R_{\min}) / R_m = (14.9 - 11.2) / 13.5 = 0.27 < q = 0.31.$$

где  $q$  - учитывает достоверность выборки (табл.12.1 ).

Таблица 12.1 Численные значения коэффициента  $q$ .

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
q	0.23	0.28	0.31	0.34	0.37	0.39	0.41	0.42	0.43	0.45

Результаты испытаний раствора

$R_p$ : 5.28 МПа, 5.67 МПа, 5.79 МПа, 6.86 МПа, 4.98 МПа. Среднее значение  $R_{pm} = 5.72$ МПа. Проверяем условие

$$(R_{p\max} - R_{p\min}) / R_{pm} = (6.86 - 4.98) / 5.72 = 0.33 > q = 0.31.$$

Исключаем из выбора  $R_{p\max} = 6.86$ МПа и повторяем расчет:  $R_{pm} = 5.4$ МПа.

К расчету принимаем  $R_{pm} = 0.7 \cdot 5.4 = 3.8$ МПа. (Т.к. результаты испытания раствора были получены испытанием пластинок раствора, отобранных из швов, вводим поправочный коэффициент 0.7).

В результате испытаний установлены условные марки кирпича (М135) и раствора (М38).

Определим методом линейной интерполяции расчетное сопротивление кладки

$$k_{ск} = \frac{M' - M_{(i-1)}}{M_{(i+1)} - M_{(i-1)}} = \frac{13.5 - 12.5}{15.0 - 12.5} = 0.4$$

$$k_p = \frac{M' - M_{(i-1)}}{M_{(i+1)} - M_{(i-1)}} = \frac{3.8 - 2.5}{5.0 - 2.5} = 0.52$$

По таблице 2[11] определяем расчетное сопротивление кладки с учетом прочности кирпича ( $R_\gamma$ ) и раствора ( $R_\gamma$ ).

$$\Delta R_1 = R_{(i+1),(\gamma+1)} - R_{(i-1),(\gamma-1)} = 15 - 14 = 0.1$$

$$\Delta R_2 = R_{(i+1),(\gamma-1)} - R_{(i-1),(\gamma-1)} = 17 - 14 = 0.3$$

$$\Delta R_3 = R_{(i+1),(\gamma-1)} - R_{(i+1),(\gamma-1)} = 18 - 17 = 0.1$$

$$R = R_{(i-1),(\gamma-1)} + k_{ск} \cdot \Delta R_1 + k_p \cdot [\Delta R_2 + k_{ск} \cdot (\Delta R_3 - \Delta R_1)] = 14 + 0.4 \cdot 0.1 + 0.52 \cdot [0.3 + 0.4 \cdot (0.1 - 0.1)] = 1.6 \text{ МПа}$$

2. Проверим прочность кирпичного столба по условию

$$N_{sd} \leq m_q \cdot \varphi \cdot k_{mp} \cdot R \cdot A$$

где  $\alpha = 1000$  - упругая характеристика кладки по табл. 15[11] для кладки из глиняного кирпича пластического формования на растворе условной марки М'38.

$$m_q = 1 - \text{коэффициент по п.4.7[11] при } h = 510\text{мм} > 300\text{мм}.$$

$$\varphi = 0.828 - \text{коэффициент продольного изгиба при } \alpha = 1000 \text{ и}$$

$$\lambda_n = \frac{l_0}{h} = \frac{5400}{510} = 10.59 \text{ по табл. 18[11].}$$

$k_m = 0.75$  - коэффициент, учитывающий наличие трещин в неармированной кладке по табл.

$$N_{sd} = 700\text{кН} > N_{Rd} = 1 \cdot 0.828 \cdot 0.75 \cdot 1.6 \cdot (1020 \cdot 510) = 516.87\text{кН}$$

Условие не выполняется, прочность кладки не обеспечена, требуется ее усиление.

3. Выполним усиление кирпичного столба обоймой из металла. Принимаем обойму, состоящую из четырех уголков 50x50x4 мм по ГОСТ 8509 с  $A_{sw} = 4 \cdot 38.9 = 155.6\text{мм}^2$  ( $y_0 = 13.8\text{мм}$ ,  $i = 9.9\text{мм}$ ,  $f_{yd} = 440\text{МПа}$ ) и поперечных планок из полосовой стали с  $f_{ywd} = 159\text{МПа}$ , толщиной  $t = 5\text{мм}$  и шириной  $d = 60\text{мм} > 0.75b_{ye} = 0.75 \cdot 50 = 37.5\text{мм}$

Проверяем условие

$$\gamma_n \cdot N_{sd} \leq \chi \cdot \varphi \cdot [m_q \cdot k_{mp} \cdot R + \eta \frac{2.5\mu_{ad}}{1 + 2.5\mu_{ad}} \cdot \frac{f_{ywd}}{100}] \cdot A + f_{yd} \cdot A_{sd}$$

$$\mu_{ad} = \frac{2 \cdot A_{sw} \cdot (b_{эл} + h_{эл}) \cdot 100}{h_{эл} \cdot b_{эл} \cdot S_{ad}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 60 \cdot (1020 + 510) \cdot 100}{1020 \cdot 510 \cdot 300} = 0.59\%$$

Шаг поперечных планок должен быть:  $\leq 40i = 40 \cdot 9.9 = 396\text{мм} \leq b = 510\text{мм}$

Размер кладки = 510 мм. Принимаем  $S_{ad} = 300\text{мм}$ .

$$N_{Rd} = 1 \cdot 0.828 \cdot [1 \cdot 0.75 \cdot 1.6 + 1 \cdot \frac{2.5 \cdot 0.59}{1 + 2.5 \cdot 0.59} \cdot \frac{153}{100}] \cdot 1020 \cdot 510 + 155.6 \cdot 440 = 965.5\text{кН}$$

$$0.95 \cdot 750 = 712.5\text{кН} < 965.5\text{кН}$$

$\psi = 1$  - коэффициент, принимаемый при центральном сжатии.

$\eta = 1$  - коэффициент, принимаемый при центральном сжатии.

Проверим прочность элементов обоймы. Условная поперечная сила для элемента из стали С38/23

$$V_{fic} = 0.20 \cdot A_s = 0.20 \cdot 3.89 = 0.78\text{кН}$$

Усилие среза планки

$$F = \frac{V_{fic} \cdot b}{S_{ad}} = \frac{780 \cdot 1067}{300} = 2.78 \text{ кН}$$

где  $b = 1020 + 2 \cdot 23.5 = 1067 \text{ мм}$

$Z = 23.5 \text{ мм}$  - для уголка 50x5 по ГОСТ 8509

$$M_{sd} = \frac{V_{sd} \cdot S_{ad}}{2} = \frac{0.5 \cdot V_{fic} \cdot 0.300}{2} = \frac{0.5 \cdot 0.78 \cdot 0.300}{2} = 0.06 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Проверим принятое сечение планки

$$W = \frac{M_{sd} \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{6000 \cdot 0.95}{235 \cdot 1} = 242.55 \text{ мм}^3 < \frac{t_{rn} \cdot d_{rn}}{6} = \frac{5 \cdot 60^2}{6} = 3000 \text{ мм}^3$$

Выполним проверку сварного соединения: электрод Э42, катет шва  $k_f = 4 \text{ мм}$

$$\tau = \frac{F}{k_f \cdot \beta_f \cdot d_{rn}} = \frac{2780}{4 \cdot 0.7 \cdot 60} = 16.55 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \frac{M_{sd}}{W} = \frac{6000}{1680} = 3.57 \text{ МПа}$$

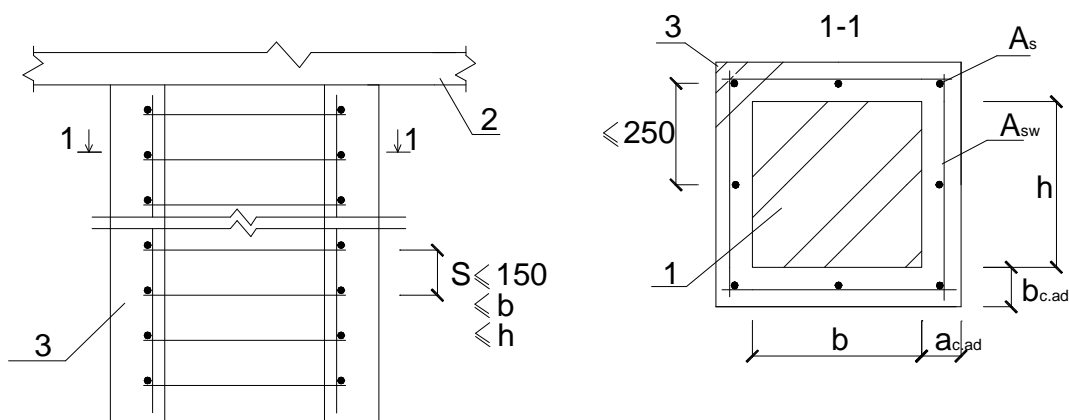
$$W = \beta \cdot k_f \cdot d_{rn}^2 / 6 = 0.7 \cdot 4 \cdot 60^2 / 6 = 1680 \text{ мм}^3$$

$$\sigma = \sqrt{\tau^2 + \sigma^2} = \sqrt{16.55^2 + 3.57^2} = 16.93 \text{ МПа} < R_{cs} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_w = 0.95 \cdot 0.8 \cdot 180 = 136.8 \text{ МПа}$$

Прочность сварного шва обеспечена.

#### 12.4 Усиление обоймой из железобетона

Применение обоймы из железобетона из-за высокой трудоемкости используют при значительных повреждениях кладки или при необходимости существенного увеличения несущей способности каменной конструкции. Идея заключается как в повышении характеристик кладки работающей в условиях всестороннего ограничения, так и в увеличении площади сечения элемента (см. рис.12.3)



1 – усиливаемый элемент; 2 – перекрытие;  
3 – обойма (железобетонная, штукатурная);

**Рисунок 12.3 – Усиление кирпичного столба армированной обоймой**

Проверяется условие:

$$\gamma_n \cdot N_{sd} \leq \chi \cdot \varphi \cdot \left[ (m_q \cdot m_{f,c1} \cdot R + \eta \cdot \frac{3\mu_{ad} \cdot m_s}{1 + \mu_{ad}} \cdot \frac{f_{ywd,ad}}{100}) \cdot A + \gamma_{c,ad} \times \right. \\ \left. \times (f_{cd,ad} \cdot A_{c,ad} + f_{yd,ad} \cdot A_{s2,ad}) \right] \quad (12.11)$$

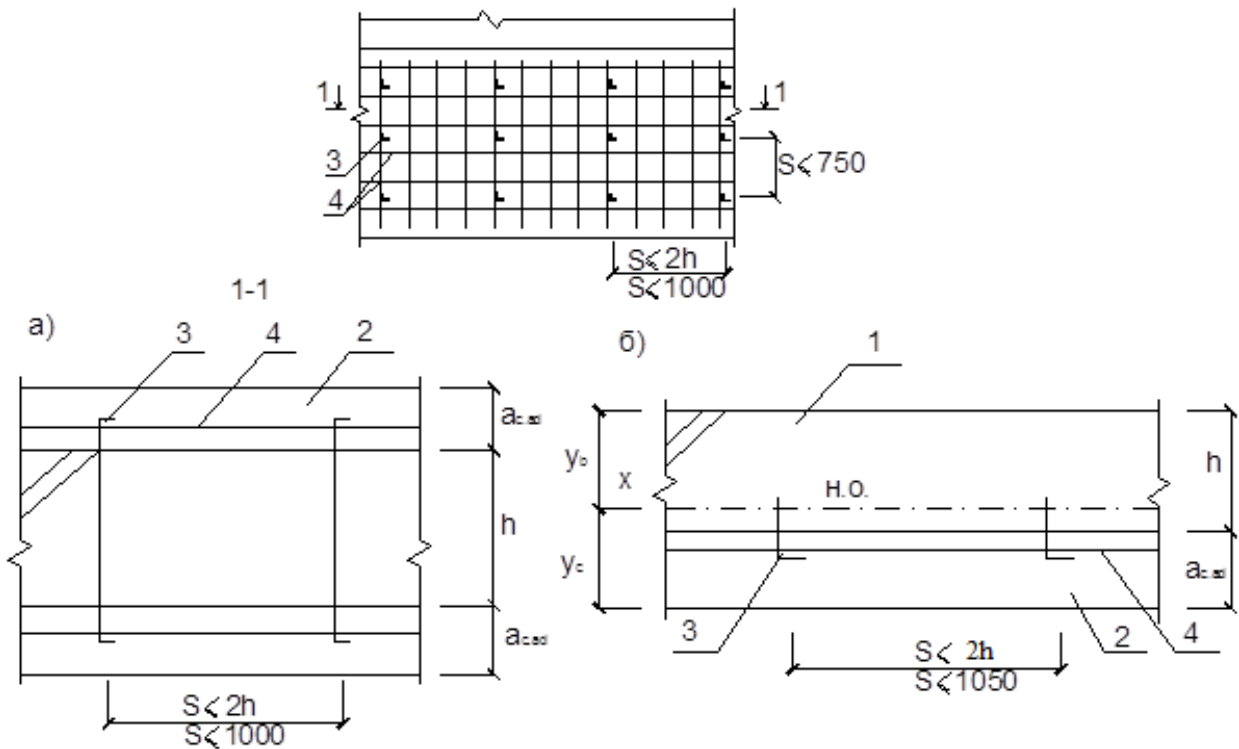
где  $f_{ywd,ad}$  и  $f_{yd,ad}$  - расчетное сопротивление поперечной и продольной арматуры соответственно;

$A_{c,ad}$  - площадь бетона обоймы (без учета защитного слоя бетона);

$A_{s2,ad}$  - площадь сечения продольной арматуры;

$\gamma_{c,ad}$  - коэффициент, условия работы бетона:

- $\gamma_{c,ad} = 1$  - при передаче усилия на обойму и наличии опоры снизу;
- $\gamma_{c,ad} = 0.7$  - тоже, без опоры по низу обоймы;
- $\gamma_{c,ad} = 0.35$  - без передачи нагрузки на обойму;



1 – усиливаемая стена; 2 – наращивание;

3 – анкера (связи); 4 – сетка;

**Рисунок 12.4 – Усиление кирпичной стены наращиванием с двух сторон (а) и с одной стороны (б)**



Таблица 12.2 - Коэффициенты условия работы арматуры ( $\gamma_{cs}$ )

№ п/п	Вид армирования	Значения коэффициента $\gamma_{cs}$		
		S240	S280 <sup>1</sup>	S500 <sup>2</sup>
1.	Сетчатое армирование <sup>3</sup>	0.75	-	0.6
2.	Продольная арматура в кирпичной кладке:			
	- растянутая	1	1	1
	- сжатая	0.85	0.7	0.6
	- отогнутая, хомуты	0.80	0.8	0.6
3.	Анкера и связи в кладке			
	- на растворе М25 и выше	0.90	0.9	0.8
	- на растворе М10 и ниже	0.50	0.6	0.6

1. При использовании более высоких классов арматуры расчетное сопротивление принимать не выше чем для арматуры класса S280  
 2. Тоже не выше, чем для арматуры класса S500  
 3. При расчете сеток косвенного армирования для кирпичной кладки, выполняемой способом замораживания, вводится дополнительный коэффициент  $\gamma_{cs1} = 0.5$  (стадия оттаивания) и  $\gamma_{cs1} = 0.7$  (после оттаивания) или  $\gamma_{cs2} = 1$  (при наличии противоморозных добавок и прочности раствора в момент оттаивания не менее 1.5 МПа)

Коэффициент армирования сечения

$$\mu_{ad} \leq \frac{2 \cdot A_{sw} \cdot (h + b) \cdot 100}{h \cdot b \cdot S} \quad (12.12)$$

Обоймы наиболее эффективны при соотношении сторон усиливаемого элемента от 1:1 до 1:2.5, а при их устройстве расчетное сопротивление связей (хомутов) принимают с коэффициентом  $m_s = 0.5$

В ряде случаев требуется (или возможно осуществить) усиление кирпичной стены только с одной стороны (см. рис. 12.4б).

Проверяется условие

$$\gamma_n \cdot N_{sd} \leq \chi \cdot \varphi \cdot (m_q \cdot m_k \cdot R \cdot A + \gamma_{c,ad} \cdot f_{cd,ad} \cdot A_{c,ad} + f_{yd,ad} \cdot A_{s1,ad}) \quad (12.13)$$

При таком усилении проверяется прочность соединения между слоем усиления и кирпичной кладкой. К расчету принимают участок шириной  $b = 1000$  мм.

$$\sigma_{sq} = \frac{2 \cdot T_H}{b \cdot H} \leq 0.75 \cdot R_{sq} \quad (12.14)$$

где  $R_{sq}$  - расчетное сопротивление срезу кладки по неперевязанному сечению;

$H$  - высота стены;

$T_H$  - сдвигающее усилие по контакту сечения размером  $b \times H$ ;

$$T_H = \gamma_n \cdot N_{sd} \cdot e_0 \cdot \frac{S_{c,ad}}{J_c} \quad (12.15)$$

где  $N_{sd}$  - расчетное значение нагрузки на  $l = 1$  м длины стены;

$e_0$  - эксцентриситет приложения нагрузки (допускается в запас прочности принимать ( $e_0$ ) до усиления);

$S_{cad}$  - статический момент сдвигаемой части сечения (при  $b = 1$  м) относительно нейтральной оси (см. рис 12.4)

$J_c$  - момент инерции поперечного сечения стены ( $b = 1$  м) относительно нейтральной оси (см. рис. 12.3)

$$S_c = 0.5 \cdot b \cdot y_b^2 \quad (12.16)$$

$y_b$  - расстояние от нейтральной оси

$$y_b = \frac{b \cdot 0.5 \cdot h^2 + n \cdot b \cdot a_{c.ad} \cdot (h + a_{c.ad} \cdot 0.5)}{b \cdot h + n \cdot [b \cdot (h + a_{c.ad})]} \quad (12.17)$$

$$y_c = (h + a_{c.ad}) - y_b$$

где  $n$  - коэффициент приведения

$$n = E_c / E = E_c / 0.5 \cdot E_0 \quad (12.18)$$

$E_c$  - модуль упругости усиливающего материала (бетона или раствора)

$E$  - модуль деформаций кладки

$E_0$  - модуль упругости (начальный модуль деформаций)

$$E_0 = \alpha \cdot k \cdot R \quad (12.19)$$

$\alpha$  - упругая характеристика кладки (см. табл. 15[11])

$k$  - коэффициент по таблице 14[11]

$$J_c = \left[ \frac{b \cdot y_b^3}{12} + (b \cdot y_b) \cdot 0.5 \cdot y_b^2 \right] + \left[ \frac{b \cdot (y_c - a_{c.ad})^3}{12} + b \cdot (y_c - a_{c.ad}) \times \right. \\ \left. \times (0.5 \cdot (y_c - a_{c.ad})^2) \right] + n \cdot \left[ \frac{b \cdot a_{c.ad}^3}{12} + (b \cdot a_{c.ad}) \cdot 0.5 \cdot y_c^2 \right] \quad (12.20)$$

Как при проектировании усиления железобетонной облоймой, так и в процессе выполнения работ следует учесть следующие особенности:

- класс бетона по прочности на сжатие принимать не ниже С12/15;
- толщина бетона облоймы принимается: не менее 40 мм и не более 120 мм; с учетом требований по обеспечению долговечности согласно СНБ 5.03.01. – 02 [13] и ТКП 45 – 2.01 – 111 – 2008.
- шаг поперечных стержней принимают по расчету и не более 150 мм, а продольных стержней 250..300 мм;
- диаметр поперечной арматуры принимают диаметром 5..10 мм, а продольной – 10..16 мм (площадь сечения продольной арматуры д.б. не более 1.5% площади сечения бетона);
- при усилении участка кирпичной стены длиной более 2h (где h – толщина стены) следует предусмотреть стальные связи диаметром 8..10 мм с шагом не более 2h или 1.0 м (по горизонтали) и 0.75 м ( по вертикали)
- для увеличения площади контакта (повышении уровня совместной работы) в кладке рекомендуется: через каждые 4 ряда выполнять борозды на глубину 60 мм или расчищать швы (через 2 ряда) на глубину 10..15 мм;
- способ укладки бетона (инъекционирование, торкретирование, бетонирование с наращиванием опалубки и т.д.) должен обеспечивать качество укладки.

## 12.5 Пример расчета усиления железобетонной облойкой кирпичной стены

Требуется проверить несущую способность внутренней стены на нагрузки, которые будут действовать после реконструкции и, при необходимости, разработать ее усиление железобетонной облойкой. Исходные данные по результатам обследования: высота стены  $H = 4.8\text{ м}$ , толщины  $h = 380\text{ мм}$ , кирпич керамический М75, раствор кладочный М25, трещина в кладке – 2-3 трещины на

1 метре длины пересекающие 2-3 ряда кирпичей, кладка неармированная, нагрузка -  $\gamma_n \cdot N_{sd} = 480\text{ кН}$  на 1 м.п., приложена без эксцентриситета.

1. Расчетное сопротивление кладки по таблице 2[11] составляет  $R = 1.1\text{ МПа}$ .

С учетом коэффициента условия работы  $k_{T,c1} = 0.75$  оно составит  $R = k_{T,c1} \cdot R = 0.75 \cdot 1.1 = 0.825\text{ МПа}$ .

Расчет выполняем для участка стены  $l = 1\text{ м}$ .

2. Проверяем условие

$$\gamma_n \cdot N_{sd} = 480 \cdot 10^3 > m_q \cdot \varphi \cdot A \cdot R \cdot k_{T,c1} = 1 \cdot 0.82 \cdot 1000 \cdot 380 \times \\ \times 1.1 \cdot 0.75 = 257.07 \cdot 10^3\text{ Н}$$

где  $\varphi = 0.82$  по табл. 18[11] при  $\alpha = 1200$  по табл. 15[11] и  $\lambda_h = \frac{4.8}{0.38} = 12.63$

Условие не выполняется, требуется усиление.

3. Усиливаем кирпичную стену железобетонной облойкой из бетона класса С12/15 ( $f_{cd} = 12 / 1.5 = 8.0\text{ МПа}$ ) толщиной по  $h_{ad} = 60\text{ мм}$  с каждой стороны стены. Для армирования используем сетки из арматуры  $\varnothing 5$  S500 с ячейкой 100x100 мм ( $A_{s2,ad} = 196.0\text{ мм}^2$ ,  $f_{yd,ad} = 417 \cdot 0.6 = 250.2\text{ МПа}$ ). Арматурные сетки удерживаются в вертикальном состоянии поперечными связями из арматуры  $\varnothing 8$  S240, установленными с шагом 750 мм (по высоте стены) и с шагом 500 мм (по длине стены, что меньше  $2 \cdot h = 2 \cdot 380 = 760\text{ мм}$ ). Передача нагрузки непосредственно на железобетонную облойку не планируется -  $\gamma_{c,ad} = 0.35$ .

Проверяем условие

$$\gamma_n \cdot N_{sd} = 480 \cdot 10^3 < \chi \cdot \varphi \cdot \left[ (m_q \cdot k_{T,c1} \cdot R + \eta \cdot \frac{3 \cdot \mu_{ad}}{1 + \mu_{ad}} \cdot \frac{f_{ywd,ad}}{100}) \cdot A + \right. \\ \left. + \gamma_{c,ad} \cdot (f_{cd,ad} \cdot A_{c,ad} + f_{yd,ad} \cdot A_{s2,ad}) \right] = 1 \cdot 0.89 \cdot \left[ (1 \cdot 0.75 \cdot 1.1 + \frac{3 \cdot 0.062}{1 + 0.062} \cdot \frac{87.2}{100}) \times \right. \\ \left. \times 1000 \cdot 380 + 0.35 \cdot (8 \cdot 80 \cdot 10^3 + 250.2 \cdot 196.02) \right] = 560.56 \cdot 10^3$$

где  $\chi = 1$  и  $\eta = 1$  т.к. нагрузка приложена центрально.

$$\varphi = 0.89 \text{ при } \alpha = 1200 \text{ и } \lambda_h = \frac{4.8}{(0.38 + 2 \cdot 0.06)} = 9.6$$

$$m_q = 1, \text{ т.к. } h = 380\text{ мм}$$

$$f_{ywd,ad} = f_{yk} \cdot \gamma_{cs} \cdot k_{\tau c} = 218 \cdot 0.8 \cdot 0.5 = 87.2\text{ МПа}$$

$$A_{sw,ad}(\text{связей}) = 50,3 \text{ м}^2 (\text{Ø}8);$$

$$\mu_{ad} = \frac{2 \cdot A_{sw,ad} \cdot (h + b)}{h \cdot b \cdot S} = \frac{2 \cdot 50,3 \cdot (380 + 500) \cdot 100}{380 \cdot 500 \cdot 750} = 0,062\%$$

$$A_{c,ad} = 2 \cdot (1000 \cdot 40) = 80 \cdot 10^3 \text{ мм}^2 - \text{площадь сечения бетона заключенного}$$

между кладкой и арматурой (без учета защитного слоя бетона, здесь  $c = 20 \text{ мм}$ ).

Условие выполняется, прочность внутренней стены на нагрузки, которые будут действовать после реконструкции, обеспечена.

### 12.6 Усиление растворной армированной обоймой

Штукатурную обойму применяют если изменение размеров усиливаемого элемента нежелательно и отсутствует возможность установки опалубки и укладки бетона.

Проверяется условие (для элементов, работающих с малым эксцентриситетом).

$$N_{sd} \leq \chi \cdot \varphi \cdot [m_q \cdot m_k \cdot R + \eta \cdot \frac{2,8 \cdot \mu_{ad}}{1 + 2 \cdot \mu_{ad}} \cdot \frac{f_{ywd,ad}}{100}] \cdot A \quad (12.21)$$

При проектировании усиления штукатурной обоймой и в процессе выполнения работы следует учесть следующие особенности:

- толщина штукатурной обоймы принимается не менее 30 мм с учетом требований СНБ 5.03.01 – 02[13] и ТКП 45 – 2.01 – 111 – 2008.
- марка раствора принимается не ниже М75;
- нанесение раствора рекомендуется производить методом торкретирования;
- армирование штукатурных обойм выполняют аналогично железобетонным обоймам.

### Вопросы для самоконтроля

1. Назовите способы восстановления конструкций из камня и определите условия их применения.
2. Всегда ли выполняется усиление каменных конструкций?
3. Объясните эффективность усиления конструкций обоймой (штукатурной, железобетонной, металлической).
4. Перечислите конструктивные требования при устройстве обойм из разных материалов.
5. Как обеспечивается (и учитывается при расчете) совместная работа обоймы с конструкцией?
6. Учитывается ли при расчете усиления техническое состояние усиливаемой конструкции?
7. Как определяется процент поперечного армирования обоймы усиления?
8. Может ли выполняться усиление кирпичной стены с одной стороны?
9. Почему расчетное сопротивление продольной арматуры усиления снижается при расчете?
10. Как влияет поперечная арматура на расчетное сопротивление кирпичной кладки?

## ТЕМА 13. РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 13.1. Ремонт и усиление перемычек (см. с. 166-183 [26])
- 13.2. Перемычки из кирпича (см. с. 73-75 [37])
- 13.3. Пример расчёта перемычек из неармированной кладки
- 13.4. Перемычки из металла, при устройстве новых проёмов

### 13.1. Ремонт и усиление перемычек

Перекрытие дверных и оконных проёмов кирпичных зданий осуществляется перемычками из железобетона, металла и кирпича (рядовые, клинчатые, арочные). Последние встречаются чаще в зданиях ранней постройки и имеют неудовлетворительное состояние (трещины, выпадение камней) или подлежат проверке на новые нагрузки, которые будут действовать, после реконструкции. Перемычки из металла используют при организации новых проёмов.

Рядовые и клинчатые перемычки из кирпича могут перекаладываться, ремонтироваться или усиливаться.

Перекаладка осуществляется от обоих пят к замку (шалыге) из целого отборного кирпича с клиновидным швом (клинчатых) после разгрузки перемычки. Ремонт выполняют при отсутствии силовых трещин и высыпанию раствора из швов. После разгрузки перемычки, швы очищают на глубину до 10...15 мм и восстанавливают полимерцементным раствором марки не ниже М50.

Усиление перемычек осуществляется подведением разгружающих элементов из металла (уголков, швеллеров или двутавров, если позволяет высота проёма) без подвески (при ширине проёма  $l \leq 1.5\text{м}$ ) и с подвеской при большей ширине проёма, с опиранием последних на стену не менее 250мм ( $l \leq 1.5\text{м}$ ), 300мм ( $l = 1.8 \dots 2.4\text{м}$ ), 510мм ( $l = 3.0 \dots 4.2\text{м}$ ), см. таблицу 13.1.

При устройстве новых проёмов важен не только расчёт и конструктивное решение перемычки, но и порядок выполнения работ с обязательным контролем прочности кирпичной стены на всех этапах производства работ.

Усиление железобетонных перемычек не отличается от усиления изгибаемых элементов.

Разработка мероприятий по ремонту или усилению осуществляется после анализа причин появления дефектов и их устранения.

### 13.2. Перемычки из кирпича

В практике проектирования для перекрытия проёмов в стенах используют армированные кирпичные и каменные перемычки, а именно рядовые, клинчатые, арочные, которые выполняют из полнотелого кирпича не ниже М75 (см. рисунок 13.1).

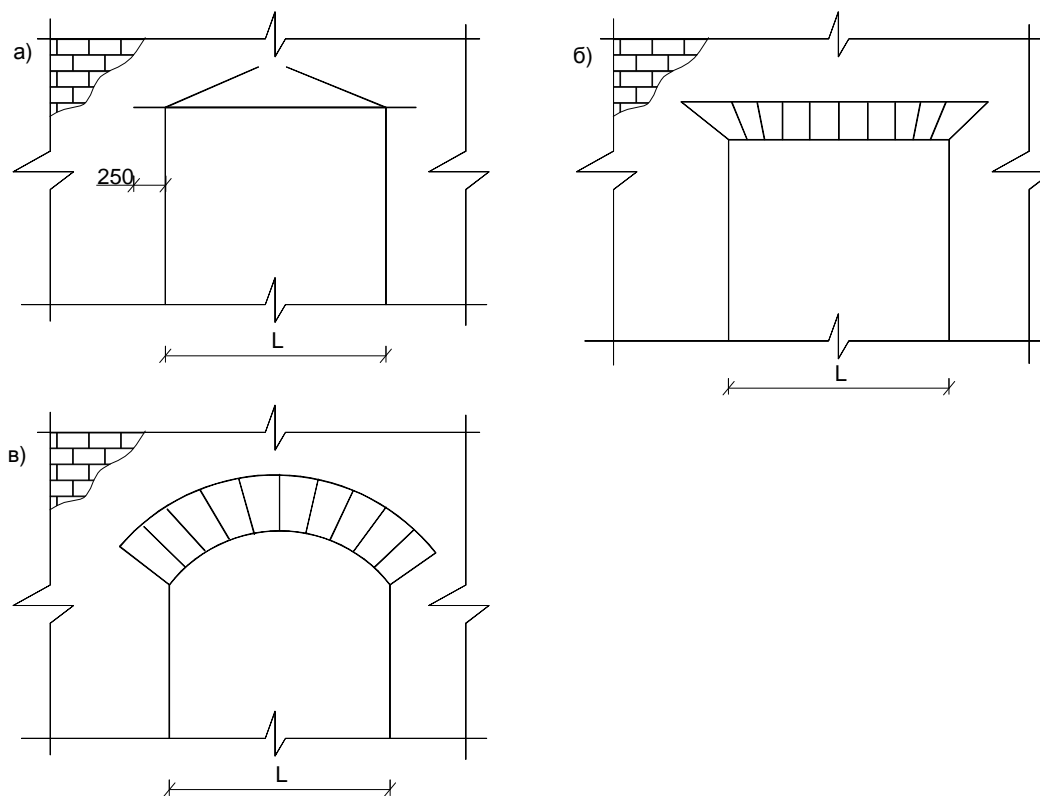
Как при проектировании, так и при исполнении усиления необходимо учитывать ряд особенностей, а именно - не рекомендуется проектировать клинчатые и арочные перемычки при наличии вибрационной и динамической нагрузок, а также при неравномерной осадке основания.

Таблица 13.1 Примеры усиления перемычек

№	Эскиз усиления	Обозначение
1		<p>1 – L110x8 2 – — 40x4 3 – болт M16</p>
2		<p>4 – шпилька M16 5 – — 40x4</p>
3		<p>1 – [ 16..[20 2 – болт M16</p>
4		<p>1 – [ 16..[20 2 – — 40x4 3 – клинья 4 – — bхhх10 5 – разжимной болт M16</p>
5		<p>1 – L110x8 2 – — 40x4</p>

Продолжение таблицы 13.1

№	Эскиз усиления	Обозначение
6		<p>1 — <math>\delta = 6</math> мм                  2 — L110x8                  3 — 100x8                  4 — шпилька M16</p>
7		<p>1 — L100x8                  2 — L100x5                  3 — 40x4</p>
8		<p>1 — 60x6                  2 — L100x5                  3 — шпилька M16</p>
9		<p>1 — <math>\delta = 5</math> мм                  2 — болт M16                  3 — L100x5</p>
10		<p>1 - новая кладка</p>



а – рядовая; б – клинчатая; в - арочная  
**Рисунок 13.1 – Тип перемычек из кирпича**

Пролёты неармированных каменных перемычек должны быть не более рекомендованных в таблице 13.2, а высота – не менее рекомендуемой в таблице 13.3.

Таблица 13.2 Максимальный пролёт неармированных перемычек.

Марка раствора	Максимальный пролёт перемычки, м			
	рядовых	клинчатых	Арочных при высоте подъёма	
			$\left(\frac{1}{8} \dots \frac{1}{12}\right) l$	$\left(\frac{1}{5} \dots \frac{1}{6}\right) l$
50...100	2.00	2.00	3.50	4.00
25	1.75	1.75	2.50	3.00
10	-	1.50	2.00	2.50
4	-	1.25	1.75	2.25

1. Арочные перемычки из неармированной кладки пролётом более, чем рекомендуемые, рассматривают как арки.

Таблице 13.3 Конструктивная высота перемычки из неармированной кладки.

Марка раствора	Наименьшая высота в долях от пролёта			
	рядовых		клинчатых	арочных
	из кирпича	из камня		
25 и выше	0.25	0.33	0.12	0.06
10	-	-	0.16	0.08
4	-	-	0.20	0.10

1. Конструктивная высота рядовых перемычек должна быть не менее 4 рядов (из кирпича) и 3 рядов (из камня).  
 2. Здесь конструктивная высота перемычки: для рядовой – высота кладки на растворе повышенной прочности; для клинчатой и арочной – высота пояса кладки на ребро.



Рядовые перемычки из неармированной кладки выкладывают на опалубке из полнотелого кирпича М75 и выше и растворе М25 и выше. Толщина слоя раствора по опалубке не менее 20 мм., арматурные стержни (не менее 3) площадью поперечного сечения 20 мм<sup>2</sup> на каждые 130 мм толщины стен. Стержни заводят на опору на 250 мм (стержни с гладкой поверхностью должны иметь крюк).

Клинчатые и арочные перемычки выкладывают по опалубке из полнотелого кирпича на ребро с двух сторон, обеспечивая клиновидный шов размером не менее 5 мм (по низу) и не более 25 мм (по верху).

В таблице 13.4. приведено время выдержки перемычек на опалубке.

Таблица 13.4. Минимальное время выдерживания перемычек на опалубке, сут.

Температура наружного воздуха, °С	Рядовые		Клинчатые и арочные	
	Марка раствора			
	М25 и выше	М25 и выше	М10	
1-5	24	10	20	
6-10	18	8	15	
11-15	12	5	10	
16-20	8	5	10	
Выше 20	5	5	10	

1. При выполнении работ в зимнее время снятие опалубки производят при прочности раствора не ниже 60% от проектной (для рядовых) и не ниже 30% (для клинчатых и арочных).

Рядовые, клинчатые и арочные перемычки из неармированной кладки рассчитываются как арки, распор в которых воспринимается кирпичной кладкой простенков или затяжкой из металла (см. рис. 13.2).

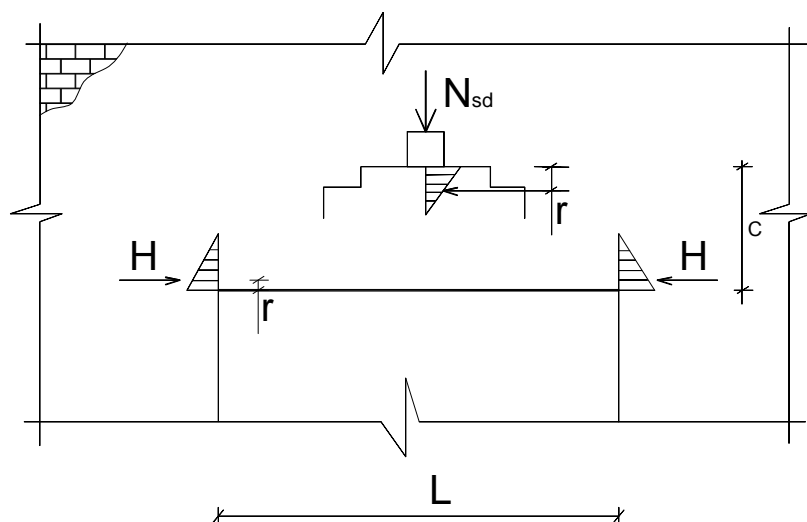


Рисунок 13.2 – К расчёту перемычек

Величина распора (H) определится по формуле (13.1) для перемычки без затяжки и по формуле (13.2) для перемычки с затяжкой.

$$H = M_{sd} / (c - 2r) \quad (13.1)$$

$$H = M_{sd} / (d - r) \quad (13.2)$$

где  $M_{sd}$  – расчётное значение изгибающего момента определённого для статически определимой балки на двух опорах.  $M_{sd} = 0.125q \cdot l_{eff}^2$ ; (значение расчётного пролёта принимают равным расстоянию между центрами опирания на стену).

c – расчётная высота перемычки принимается равной расстоянию от низа перемычки до уровня опирания элементов перекрытия, а при их отсутствии равной  $1/3 l_{eff}$ .

$d$  – расстояние от верха расчётной высоты перемычки до арматуры затяжки.

$r$  – расстояние от верха расчётной высоты перемычки до центра давления в замке и от низа перемычки до центра давления в пяте (см. табл. 13.5).

Перемычки рассчитывают на нагрузку от неотвердевшей кирпичной кладки высотой равной  $\frac{1}{3}$  пролёта при выполнении работы при положительной температуре (при кладке зимой с использованием метода замораживания равной целому пролёту). При расчёте учитывают нагрузку от элементов перекрытия (балок, настилов), если она приложена в пределах квадрата со стороной равной пролёту перемычки в свету (при кладке зимой – в пределах прямоугольника высотой равной удвоенному пролёту).

Таблица 13.5 Расстояние ( $r$ ) в долях от расчётной высоты ( $c$ ) перемычки.

Величина ( $r$ ) в долях от расчётной высоты ( $c$ )	Марка раствора				
	100	50	25	10	4
Марка кирпича М75 и выше	0.10	0.12	0.15	0.20	0.25
Марка кирпича М50 и выше	-	0.15	0.20	0.25	0.30

1. Здесь для арочных перемычек расчётная высота ( $c$ ) принимается от низа пяты до уровня опирания балок (настила), включая высоту подъёма перемычки.

При определении усилия в перемычке, если на неё передаётся сосредоточенная нагрузка от нескольких сил, рекомендуется пользоваться таблицей 13.6

При действии сосредоточенных сил

$$Msd = \alpha \cdot P \cdot l + J_{кл} \cdot b \cdot l^3 \cdot \frac{1}{24} \quad (13.3)$$

При действии распределённой нагрузки

$$Msd = 0.125 \cdot q \cdot l^2 + J_{кл} \cdot b \cdot l^3 \cdot \frac{1}{24} \quad (13.4)$$

Таблица 13.6 Значение коэффициента  $\alpha$  при расчёте усилий в перемычке.

$\alpha$	Схема нагрузок	$\alpha$	Схема нагрузок
0.25		0.75	
0.333		$0.75 - \frac{a}{l}$	
0.50		$1 - \frac{2a}{l}$	
0.60		$1.25 - \frac{3a}{l}$	

Для перемычек расположенных у углов здания необходимо проверить прочность пяты перемычки на срез по условию:

$$Q = H \leq (R_{сг} + 0.8n \cdot f \cdot \sigma_0) \cdot F \quad (13.5)$$

где – F – расчётная площадь сечения;

n=1 (для кладки из полнотелого кирпича и камней) и n=0.5 (для кладки из пустотелого кирпича и камней с вертикальными пустотами);

f=0.7 – коэффициент трения для кладки из кирпича правильной формы;

$\sigma_0 = N_{sd}^{min} \cdot \gamma_c / F$  – средние напряжения в кладке от вертикальной нагрузки при

$$\gamma_c = 0.9$$

$R_{сг}$  - расчётное сопротивление срезу кладки по неперевязанному шву.

Таким образом общее сопротивление срезу по горизонтальному шву складывается из непосредственного среза и сопротивления срезу.

Угловой простенок (при отсутствии затяжки у перемычки) проверяется на внецентренное сжатие от совместного действия распора (H) и вертикальной продольной силы ( $N_{sd}$ ). При этом величина эксцентриситета равнодействующей в сечении на уровне подоконника не должна превышать  $e_0 \leq 0.7y$ . При недостаточной прочности углового простенка на внецентренное сжатие ставится затяжка в перемычке с заделкой в простенки не менее чем на 500 мм.

Сечение затяжки определяется:

$$A_s = H / f_{yd} \quad (13.6)$$

с эксцентриситетом ( $e_0$ )

$$e_0 = 0.5c - r \quad (13.7)$$

При выполнении расчёта не проверяется растянутая зона перемычки на раскрытие трещин.

Для определения прочности на внецентренное сжатие проверяется условие

$$N_{sd} = H \leq m_g \cdot \varphi_1 \cdot \omega \cdot R \cdot F_c \quad (13.8)$$

где –  $m_g=1$  для сечения с меньшим размером 30см и более;

$\varphi_1 = 0.5(\varphi + \varphi_c)$  – коэффициент продольного изгиба элемента, сечением с х h

и длиной  $l_n$  (с – расчётная высота перемычки, h – толщина стены,  $l_n$  – пролёт перемычки в свету).

$$\varphi = f\left(\lambda = \frac{l_n}{h_{илис}}, \alpha\right) \text{ по таблице 18[11],}$$

$$\varphi_1 = f\left(\lambda = \frac{l_n}{h_c}, \alpha\right) \text{ по таблице 18[11],}$$

$$h_c = c - 2 \cdot e_0 - \text{высота сжатой зоны.}$$

$$\omega = 1 + \frac{e_0}{c} \leq 1.45$$

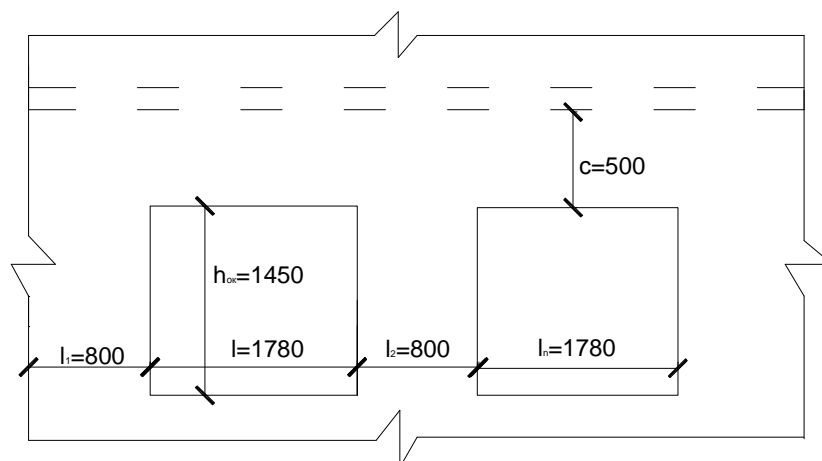
$$F_c = F \left(1 - \frac{2e_0}{c}\right) = c \cdot h \left(1 - \frac{2e_0}{c}\right) \quad (13.9)$$

### 13.3. Пример расчёта перемычек из неармированной кладки.

Требуется рассчитать среднюю и крайнюю перемычки при следующих исходных данных : марка кирпича М100 (полнотелый, глиняный); раствор М25, объёмный вес кладки  $j=18\text{Кн/м}^3$ , толщина стены 510 мм; кладка выполняется в летнее время, расстояние от низа перемычки до низа перекрытия 500 мм.(см. рис. 13.3)

А. Расчёт средней перемычки

1.Так как  $c=500 \text{ мм} < l/3 = 1780/3 = 593.3 \text{ мм}$ , то расчётная высота перемычки  $c=500 \text{ мм}$ .



**Рисунок 13.3 – К расчёту перемычек по примеру**

## 2. Определение нагрузок

Нагрузка от слоя кладки высотой  $l/3 = 1780/3 = 593.3 \text{ мм} \approx 500 \text{ мм}$ .

$$q_{d1} = 0.51 \cdot 0.50 \cdot 1800 \cdot 1.1 = 606 \text{ кг/м. п.} = 6.06 \text{ кН/м. п.}$$

Нагрузка от перекрытия

Так как распределённая нагрузка от перекрытия через пустотные панели приложена на расстоянии менее размера пролёта перемычки, т.е.  $0.5 \text{ м} < 1.78 \text{ м}$ , то нагрузка от перекрытия учитывается

$$q_{d2} = 42.3 \text{ кН/м. п.}$$

## 3. Определение усилий в перемычке

Изгибающий момент в замке перемычки

$$M_{sd} = \frac{(6.06 + 42.3) \cdot 1.78^2}{8} = 19.15 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Расчётное значение усилия распора

$$H = \frac{M_{sd}}{c - 2r} = \frac{19.15 \cdot 10^6}{500 - 2 \cdot 75} = 54714 \text{ Н} = 54.72 \text{ кН}$$

где  $r = 0.15 \cdot c = 0.15 \cdot 500 = 75 \text{ мм}$  с учётом таблицы 13.5

Эксцентриситет приложения усилия распора определяется

$$e_0 = 0.5 \cdot c - r = 0.5 \cdot 500 - 75 = 175 \text{ мм}$$

## 4. Проверим прочность кладки на внецентренное сжатие

По таблице 2[11] при  $M_k = 100$  и  $M_p = 25$  расчётное сопротивление кладки  $R = 1.3 \text{ МПа}$ .

Коэффициент продольного изгиба элемента сечением  $c \cdot h \cdot l = 500 \cdot 510 \cdot 1780 \text{ мм}$  определяется

$$\varphi_1 = 0.5(\varphi + \varphi_c) = 0.5(1 + 0.84) = 0.92$$

$$\varphi = 1.0 \text{ по таблице 18[11] при } \alpha = 1000 \text{ по таблице 15 и } \lambda = \frac{l}{c} = \frac{1.78}{0.5} = 3.56$$

$$\varphi_c = 0.84 \text{ по таблице 18[11] при } \alpha = 1000 \text{ по таблице 15[11] и } \lambda = \frac{l}{h_c} = \frac{1.78}{0.15} = 11.9$$

$$h_c = c - 2 \cdot l_0 = 500 - 2 \cdot 175 = 150 \text{ мм}$$

Коэффициент  $m_g = 1$  т.к. и  $c$  и  $h > 30 \text{ см}$  (см. п. 4.7[11])

$$\text{Коэффициент } \omega = 1 + \frac{l_0}{c} = 1 + \frac{1.75}{500} = 1.35 < 1.45 \text{ (см. п. 4.7[11])}$$

Проверяем условие

$$N_{sd} = 54.72 \text{ кН} \leq m_g \cdot \varphi_1 \cdot \omega \cdot R \cdot F_e = 1 \cdot 0.92 \cdot 1.35 \cdot 1.3 \cdot 510 \cdot 150 = 123517 \text{ Н} = 123.52 \text{ кН}$$

Условие выполняется, прочность обеспечена.

**Б. Расчёт крайней перемычки.**

Расчёт самой перемычки не повторяем, поскольку все условия выполняются. Требуется дополнительные проверки углового простенка шириной  $l_0 = 800 \text{ мм}$  ( $h = 510 \text{ мм}$ ,  $F = 510 \times 1000 = 40.8 \times 10^4 \text{ мм}^2$ ). Расчётное усилие на уровне низа перемычки

$N_1 = (6.06 + 42.3) \cdot (1.78 \cdot 0.5 + 0.8) = 81.73 \text{ кН}$ . Расчётное усилие на уровне низа проёма  $N_2 = 81.73 + (0.8 \cdot 0.51 \cdot 1.45 \cdot 18 \cdot 1.1) = 93.44 \text{ кН}$

1. Проверим прочность пяты перемычки на срез по горизонтальному шву

$$H = 54.72 \text{ кН} < Q_{cr} = (R_{cr} + 0.8 \cdot n \cdot f \cdot \sigma_0) \cdot F = (0.11 + 0.8 \cdot 1 \cdot 0.7 \cdot 0.183) \cdot 40.8 \cdot 10^4 = 86692 \text{ Н} = 86,69 \text{ кН}$$

где -  $R_{cr} = 0.11 \text{ МПа}$  по таблице 10[11].

$n=1$ , т.к. кладка из полнотелого кирпича

$f=0.7$  – коэффициент трения

$$\sigma_0 = \frac{74,75 \cdot 10^3}{40,8 \cdot 10^4} = 0.183 \text{ МПа} - \text{среднее напряжение при действии вертикальной}$$

нагрузки с коэффициентом  $\gamma_c = 0.9$

Условие выполняется, прочность на срез обеспечена.

Проверим прочность углового простенка на внецентренное сжатие.

1. Расчётный изгибающий момент от распора на уровне низа оконного проёма

$$M_{sd} = H(h_{ок} + r) = 54.72 \cdot (1.45 + 0.075) = 83.45 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

2. Эксцентриситет приложения продольной силы  $N_2 = 93.44 \text{ кН}$  определяется

$$e_o = \frac{M_{sd}}{N_2} = \frac{83.45}{93.44} = 0.893 \text{ м} = 893 \text{ мм}, \text{ что больше } 0.7 \cdot y = 0.7 \cdot (0.5 \cdot 800) = 280 \text{ мм}.$$

Это указывает на то, что сечение работает с большим эксцентриситетом и прочность углового простенка на внецентренное сжатие не обеспечена.

Для восприятия распора в перемычке устанавливаем затяжку из арматуры S400 ( $f_{yd} = 367 \text{ МПа}$ ).

$$A_s = H / f_{yd} = 54.72 \cdot 10^3 / 367 = 149.1 \text{ мм}^2$$

Принимаем  $3\emptyset 10 \text{ S400}$  с  $A_s = 236.0 \text{ мм}^2$ , что больше  $(510/130) \cdot 20 = 78.5 \text{ мм}^2$ .

При устройстве перемычки, на опалубку укладываем слой цементно-песчаного раствора толщиной 25 мм, на раствор укладываем 3 стержня диаметром 10 мм с длинной анкерки за пределы проёма по 500 мм.

3. Проверяем конструктивные требования

При обеспечении прочности углового простенка на внецентренное сжатие, арматура в рядовой перемычке ставится конструктивно: не менее трёх стержней диаметром 6 мм ( $A_s = 85 \text{ мм}^2$ ), с заведением за грань проёма на 250 мм, стержни из арматуры класса S400 должны заканчиваться крюком (см. п. 6.1 ТКП 45-5.02-82-2010).

#### 13.4. Перемычки из металла при устройстве новых проёмов

При устройстве в существующей кирпичной стене проёма шириной более 600 мм необходимо устанавливать над ним перемычку из металла (см. рис. 13.4). Для этих целей используют прокатные швеллеры (чаще) или двутавры.

При расчёте определяют изгибающий момент ( $M_{sd}$ ) согласно положений раздела 13.2 из условия

$$\sigma \leq \frac{M_{sd}}{W} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (13.10)$$

Необходимо проверить участок опирания прокатного элемента на кладку на смятие из условия

$$V_{sd} \leq \psi \cdot d \cdot R_c \cdot A_c \quad (13.11)$$

где -  $M_{sd}$  и  $V_{sd}$  – изгибающий момент и опорная реакция перемычки;

$W$  – момент сопротивления прокатного элемента;

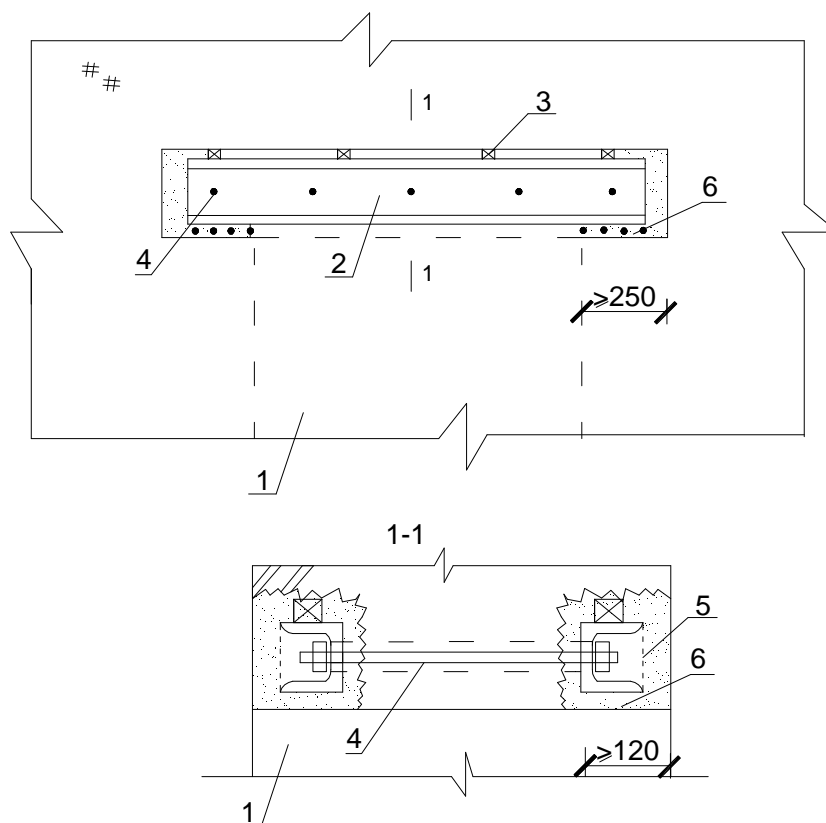
$\psi \cdot d = 0.75$  – для кладки из кирпича;

$A_c$  – площадь смятия;

$R_c$  - расчётное сопротивление кладки на смятие

$$R_c = \xi \cdot R = \sqrt[3]{A/A_c} \cdot R \quad (13.12)$$

$\xi$  – коэффициент принимаемый по п. 4.13.



- 1 – будущий проём; 2 – швеллер; 3 – антисептированные пробки (шаг  $\leq 500$  мм);  
 4 – стяжной болт (не менее  $\varnothing 16$  с шагом не более 500 мм); 5 – арматурная сетка;  
 6 – цементно-песчаный раствор М100

**Рисунок 13.4 – Устройство перемычек над пробиваемым проёмом**

**Особое внимание следует обратить на порядок производства работ:**

- производят разметку будущего проёма;
- разгружают участок стены, используя временное раскрепление вышележащего перекрытия (включая участки за пределами проёма на длину не менее 500 мм.);
- сверлят лидерные отверстия по контуру будущего проёма;
- выбирают в кирпичной стене по двум граням борозду (предварительно расчётом проверяется несущая способность ослабленного сечения стены);
- сверлят отверстия под стяжные болты;
- готовят полость борозд к работе (обеспыливают, увлажняют);
- установить швеллера, стянуть болтами, зачеканить полости цементно-песчаным раствором М100;
- по достижению раствором прочности не ниже 75% от проектной выполнить разборку кирпичной кладки по размерам проёма.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Какие виды перемычек вы знаете?
2. Назовите особенности проектирования неармированных перемычек из кирпича.
3. Какие сечения проверяют при расчёте перемычек из кирпича?
4. Назовите виды дефектов перемычек и причины их появления.
5. В чём заключается идея перекладки, ремонта или усиления перемычек?
6. Сформулируйте требования при устройстве рядовых перемычек из кирпича.
7. Предложите варианты усиления опорных участков перемычек.
8. Определите порядок работ при устройстве проёма в существующей стене.
9. Предложите способы включения усиления в работу.
10. Как определяют усилия, действующие в перемычке?

## ТЕМА №14. УСИЛЕНИЕ ЗДАНИЙ ИЗ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

14.1 Обеспечение пространственной жесткости здания (см. с. 37-41 [37])

14.2 Усиление отдельных элементов зданий (см. с. 166-183 [26])

### 14.1 Обеспечение пространственной жесткости здания

При эксплуатации вследствие неодинаковой (различные грунты), не стабильной (локальное увлажнение) жесткости основания появляются как локальные (сеть трещин), так и магистральные (на всю высоту стены) трещины (см. табл. 14.1). Неравномерная осадка фундаментов (именно она вызывает дополнительные растягивающие или скалывающие напряжения в кладке) может являться следствием температурных деформаций или разной по величине нагрузки на грунты (надстройка или пристройка зданий, установка тяжелого оборудования характеризуемое как статическим, так и динамическим воздействием). Следует также иметь в виду, что деформации основания могут иметь место: при разработке рядом котлованов, траншей, забивки свай, выполнении водопонижения на соседнем участке. Термины “локальная” и “магистральная” трещины достаточно условны, так как локальные трещины стремятся, как правило, к объединению в магистральные, поэтому как определение причины их появления, так и принимаемый способ усиления должны учитывать такую возможность.

Появление трещин нарушает общую жесткость здания, а их развитие на всю высоту стены разделяет здание на блоки (отделение торцевых или продольных стен, разлом здание по всей ширине или по углу и т.д.).

Для малоэтажных зданий (до 2-х этажей) могут применяться контрфорсы (кирпичные, железобетонные) на самостоятельных фундаментах, которые не допускают потерю устойчивости стен. Фундаменты рассчитывают на прочность, сдвиг и опрокидывание.

Традиционным вариантом для зданий любой этажности считается устройство бондажа (пояса) из металла (арматура или прокатные элементы, с преднапряжением и без) в уровне перекрытий для усиления отдельных стен или коробки объекта в целом (см. рис.14.1 и 14.2).

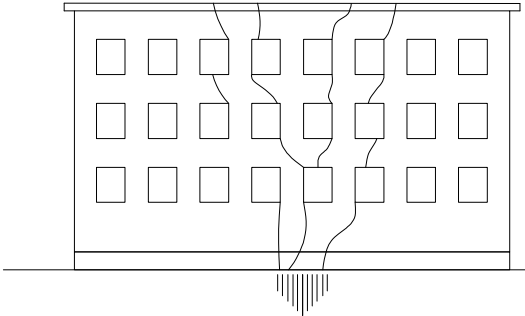
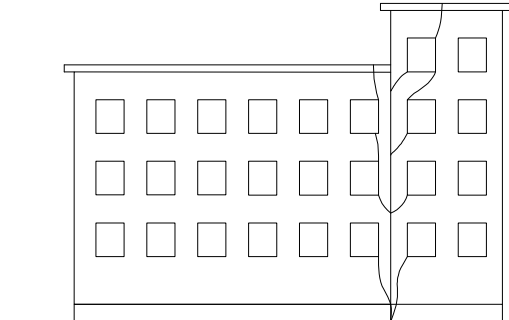
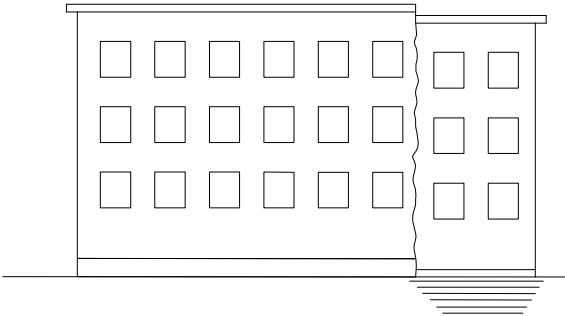
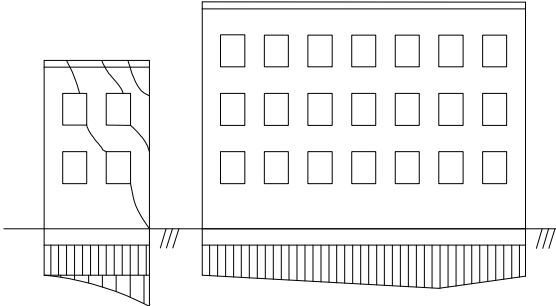
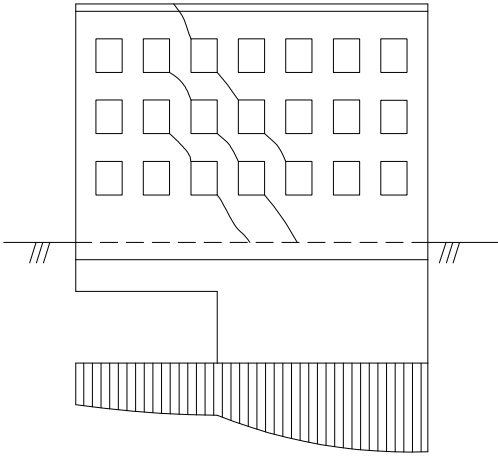
На практике чаще применяют следующие элементы усиления:

– предварительно напряженные пояса – для обеспечения пространственной жесткости и снятия растягивающих напряжений с кладки. Устанавливают, как правило, в уровне перекрытий. Выполняют из арматуры  $\varnothing 22... \varnothing 32$  S240 по ГОСТ 5781, замкнутые, длиной большей стороны не более 18,0 м и не более 1,5А (где А – ширина здания). Сечение пояса определится из условия:

Таблица 14.1 Варианты разрушения зданий

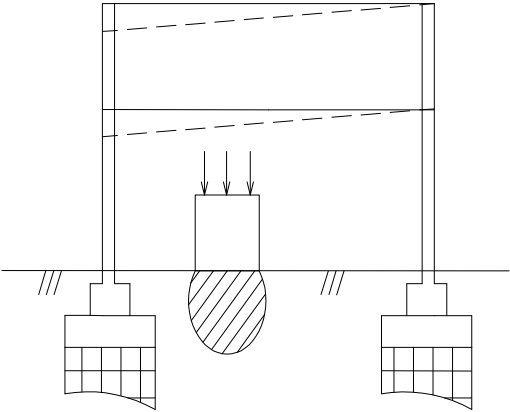
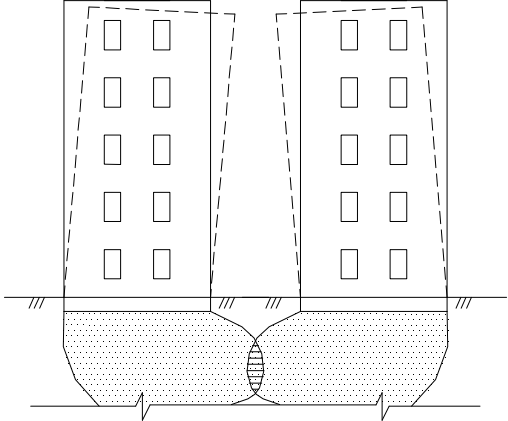
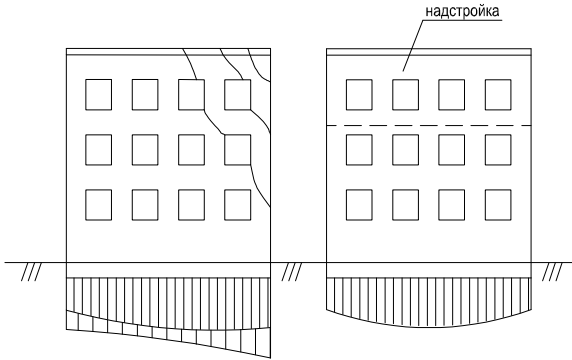


Продолжение таблицы 14.1

<p>3.</p> 	<p>4.</p> 
<p>5.</p> 	<p>Причины состояний здания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 – осадка средней части</li> <li>2 – осадка крайней части</li> <li>3 – осадка крайних частей</li> <li>4 – разные нагрузки на грунт</li> <li>5 – осадка пристроенного зданий</li> </ul>
<p>6.</p> 	<p>7.</p> 



Окончание таблицы 14.1

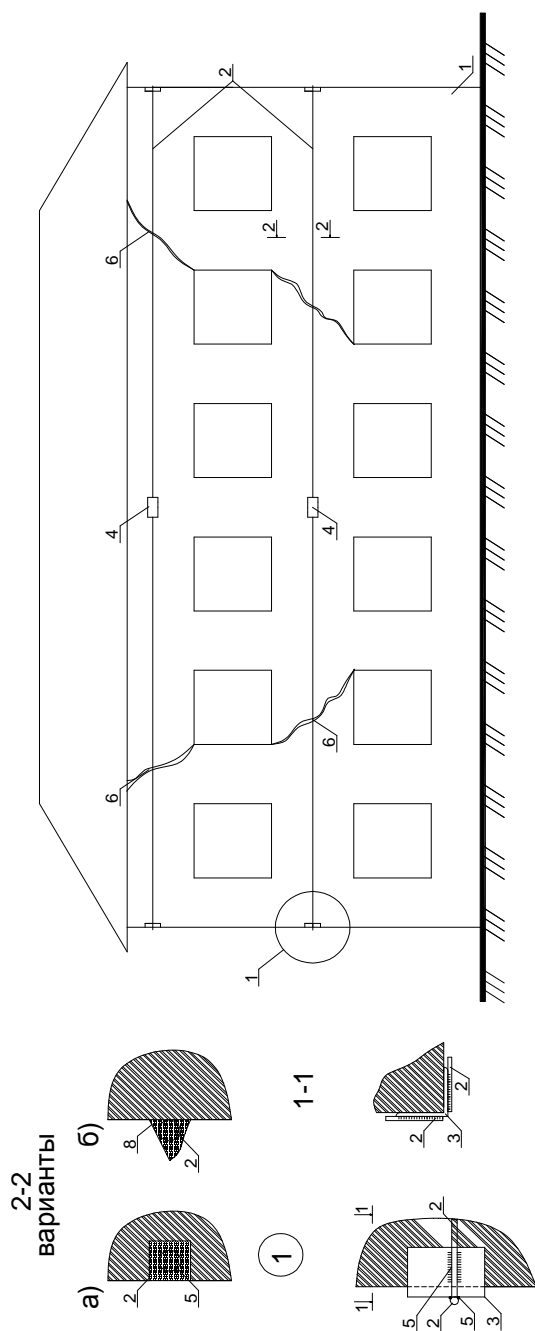
<p>8.</p> 	<p>9.</p> 
<p>10.</p> 	<p>Причины состояний здания:          6 – новое строительство          7 – устройство фундаментов          8 – монтаж оборудования          9 – новое строительство          10 – надстройка здания</p>

$$A_s = \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{0.2 \cdot R_{sq} \cdot l \cdot b}{f_{yd}} \quad (14.1)$$

где  $l$  – длина усиливаемого участка;

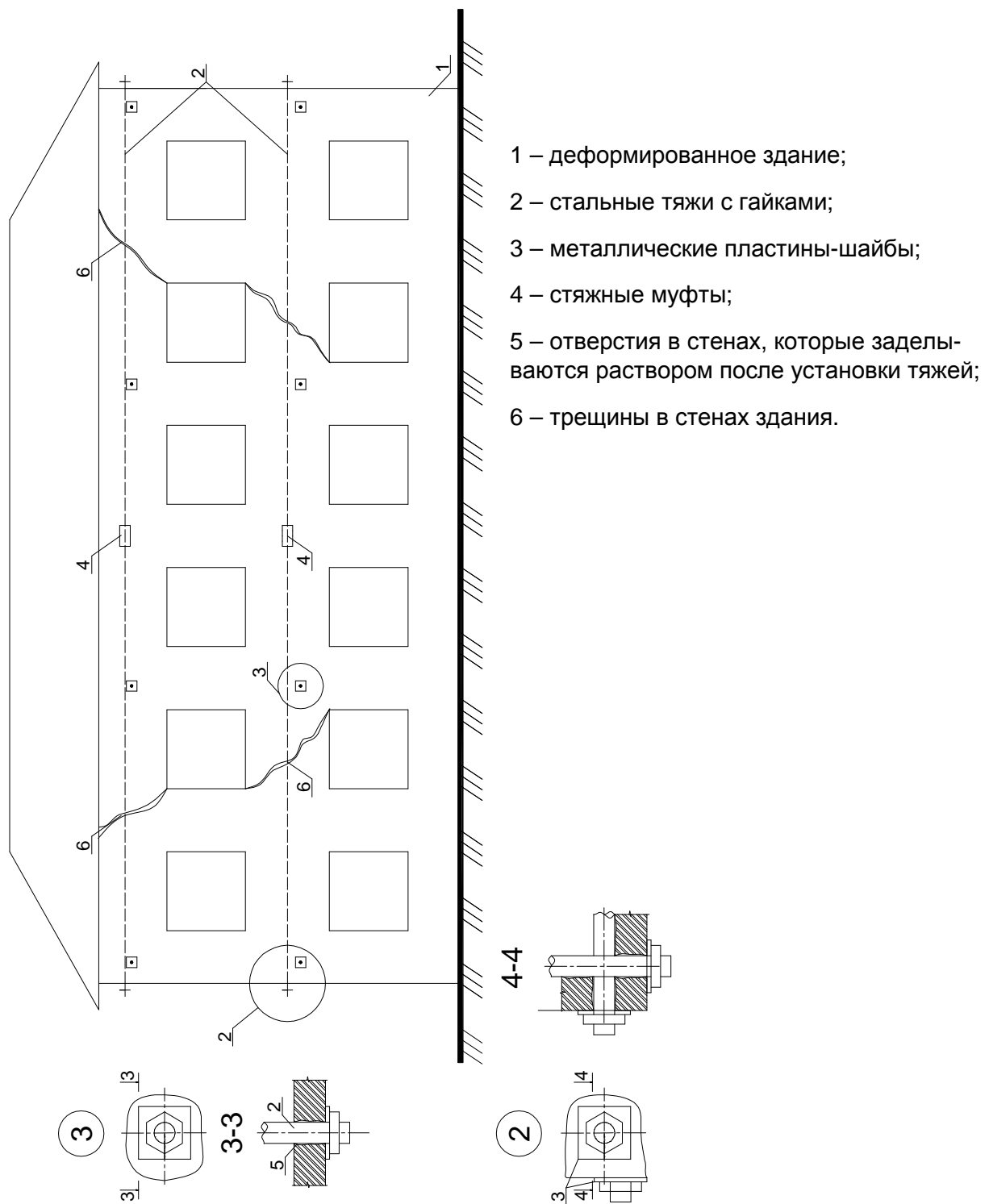
$b$  – толщина кирпичной стены;

$R_{sq}$  – расчетное сопротивление сдвигу кладки по неперевязанному сечению (см. табл.10 [11]).



- 1 – деформированное здание;
- 2 – стальные тяжи;
- 3 – прокатный профиль из уголка 150x150 мм;
- 4 – стяжные муфты;
- 5 – сварной шов;
- 6 – трещины в стенах;
- 7 – штроба в стене для заполнения цементно-песчаным раствором;
- 8 – промежуточный карниз из цементно-песчаного раствора.

**Рисунок 14.1 — Установка напряженных поясов с наружной стороны здания.**

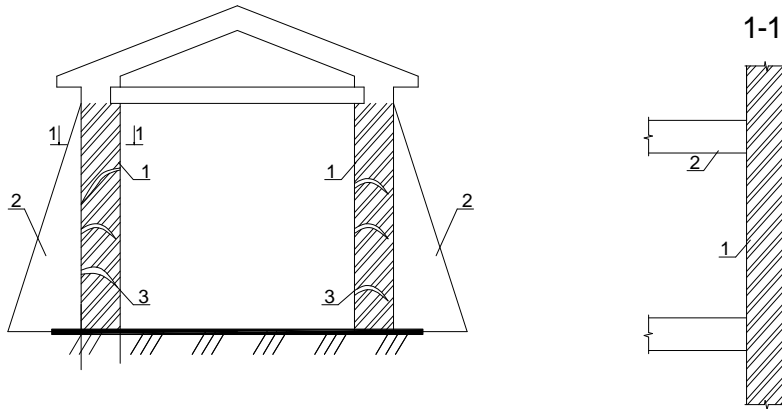


**Рисунок 14.2 – Установка напряженных поясов внутри здания.**

Таблица 14.2 Обеспечение жесткости здания

Схема усиления

1.

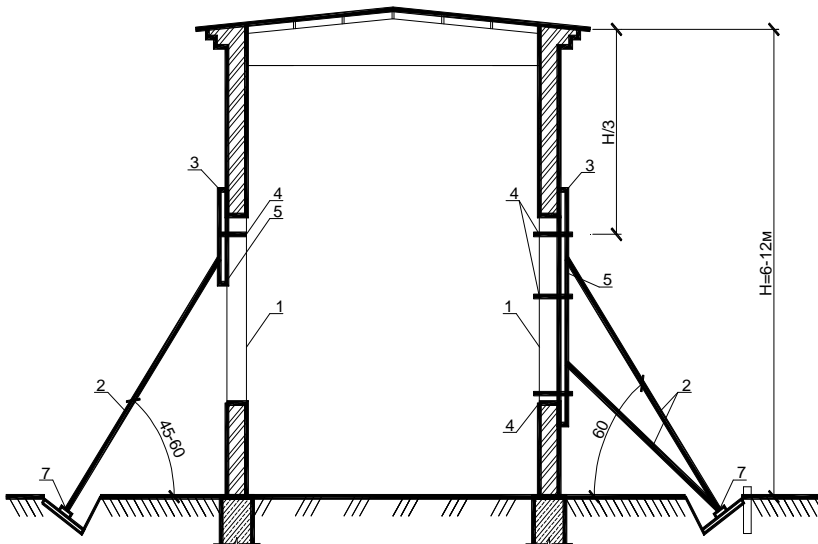


Установка контрфорсов

- 1 – отклоняющиеся стены
- 2 – контрфорсы из кирпича или ж/б
- 3 – трещины в стене

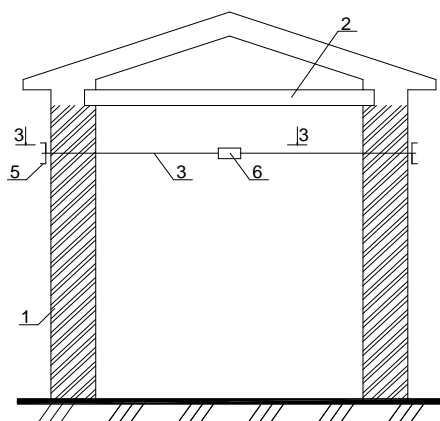
2.

Установка подкосов



- 1 – укрепляемые стены
- 2 – подкосы /брус/
- 3 – подкладки
- 4 – скрутки из проволоки
- 5 – схватки из скоб
- 6 – подкладки под подкосы
- 7 – клинья
- 8 – упор

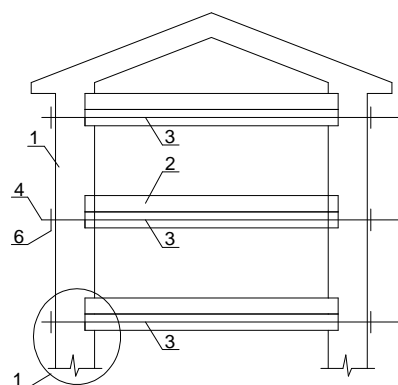
3.



Установка тяжей из металла

- 1 – закрепляемые стены
- 2 – покрытия
- 3 – тяжи
- 4 – отверстия в стенах
- 5 – траверса /швеллер/
- 6 – натяжная муфта
- 7 – трещины

4.



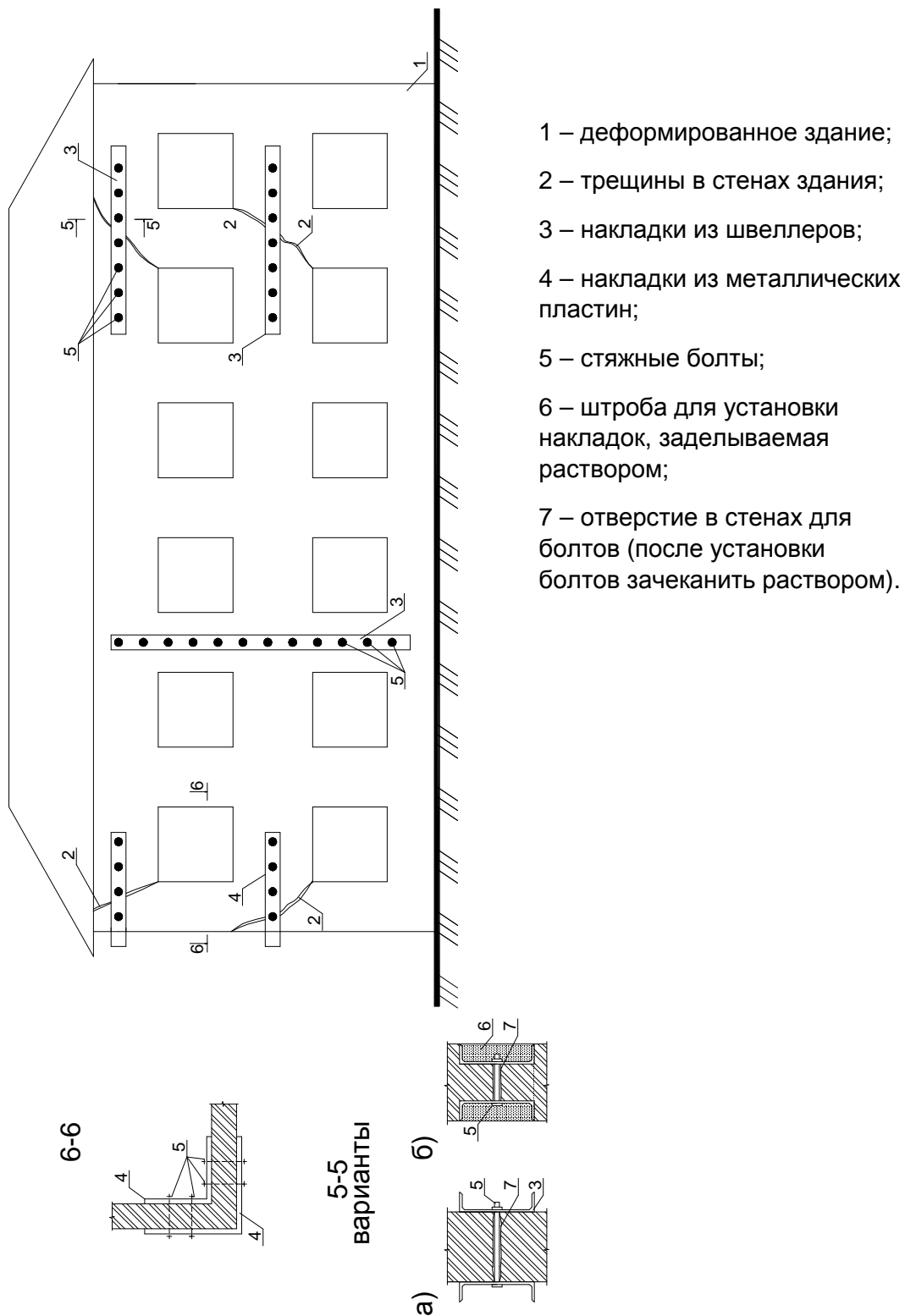
Установка поэтажных связей распорок

- 1 – стены
- 2 – перекрытия
- 3 – связи-распорки (металл)
- 4 – тяж с резьбой
- 5 – шайба
- 6 – гайка для натяжения
- 7 – цементно-песчаный раствор

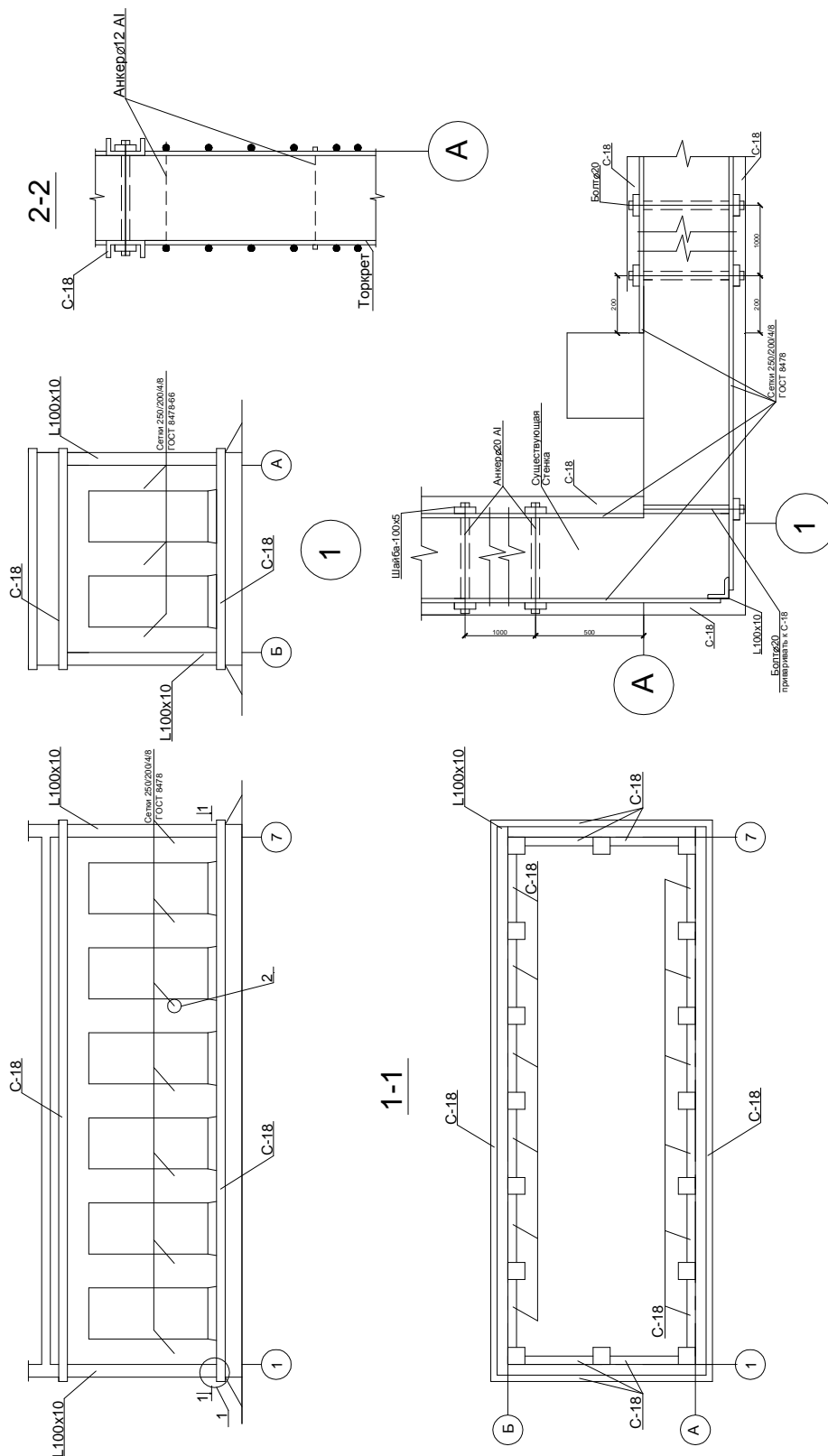
Натяжение пояса производится стяжными муфтами и гайками. Как вариант могут для поясов использоваться прокатные элементы (например – швеллер).

– Скобы-стяжки – для ограничения раскрытия и развития трещин. Выполняют из прокатных элементов длиной не менее 2,0 м, (швеллер №24 по ГОСТ 8240) с анкерными болтами Ø20 (удаление от берегов трещины не менее 700 мм) в пределах каждого этажа (см. рис. 14.3).

– Металлические пояса (см. рис.14.4). Усиление кирпичных стен зданий при значительных деформациях стен, а так же при значительном износе наружных и внутренних поверхностей стен (выветривание раствора из швов кладки, отслаивание площадок и т.д. производится путем установки металлических поясов из швеллеров №18) с шагом не более 4 м по высоте здания. Для совместной работы поясов по углам здания устанавливаются распределительные уголки  $\angle 100 \cdot 10^\circ$  по высоте здания на цементном растворе М100. Штукатурка стен производится по металлической сетке, натянутой между поясами.



**Рисунок 14.3 – Установка напряженных поясов с наружной стороны здания**



**Рисунок 14.4 – Усиление стен металлическими поясами**

Нижний пояс рекомендуется устанавливать на расстоянии 200-300 мм выше уровня пола, верхний – на уровне опор несущих конструкций покрытия. Установку поясов следует начинать снизу в следующем порядке:

1. в соответствии с характером деформации стен здания произвести разбивку поясов на фасадах здания;

2. произвести установку поясов, состоящих из швеллеров, скрепленных между собой стяжными болтами Ø20 мм, установленными заранее в просверленные отверстия с шагом 1,0 м;

3. по углам здания устанавливаю распределительные уголки на цементном растворе М100 и приваривают их к поясам;

4. натягивают сетки поясами с обеих сторон стены, дополнительно закрепив их между собой Z-образными анкерами, установленными в заранее просверленные отверстия с шагом 800 мм;

5. выполняют торкретирование стены цементно-песчаным раствором М50.

## 14.2 Усиление отдельных элементов здания

### Усиление при частичном отрыве стен (см. табл.14.3).

При частичном отрыве стены в местах сопряжения по вертикали усиление следует производить путем установки спаренных тяжей.

Анкеровку тяжей производить на расстоянии не менее 12 м от трещины и только к капитальной стене (крепление к перегородкам запрещено).

Порядок производства работ:

1. В стене просверливают отверстия Ø30 мм под тяжи и стяжные болты по высоте через 700 мм.

2. Устанавливают наружные швеллеры [10 с заранее просверленными отверстиями под болты и тяжи.

3. Производят крепление швеллеров к наружной стене стяжными болтами с установкой с внутренней поверхности стены металлических шайб 100x10x10.

4. Приваривают накладки сечением 50x5 к швеллерам.

5. В просверленные отверстия пропускают тяжи Ø20 мм и закрепляют по детали "1" с постановкой контргаек. Отверстие с установленными тяжами и болтами тщательно заделывают раствором М50.

6. После монтажа наружный швеллер и планки обернуть сеткой ГОСТ 5336-67\* и оштукатурить цементным раствором М50.

### Усиление стен при трещинах местного характера.

При трещинах хаотичного характера в существующих стенах и перегородках усиление производится установкой сеток с обеих сторон стены с последующим оштукатуриванием.

Порядок производства работ:

1. Отбивают штукатурку с обеих сторон стены.

2. Расчищают трещины.

3. Производят расчистку швов кладки на глубину 10-15 мм.

4. Очищенную поверхность стен промывают водой под давлением.

5. На поверхность стены закрепляют сетки марки 100/100/5/5, по ГОСТ 6478-66, при помощи Z-образных анкеров, устанавливаемых в ранее просверленные отверстия в шахматном порядке с шагом  $2d < S < 100$  см. Сетки устанавливают на 10 мм от стены.

6. Перед торкретированием поверхность стены обильно увлажняют водой.

7. Тщательно заполняют просверленные отверстия цементным раствором М50

8. По установленным сеткам производят торкретирование стены. Толщина штукатурки должны быть 30-40 мм.



Таблица 14.3 Усиление узлов сопряжения стен

Схема усиления	
<p>1.</p>	<p>Установка внутренних анкеров</p> <p>1 – усиливаемая стена                  2 – трещины                  3 – скважины (Ø30..40 мм, шаг 0,8 - 1,2 м)                  4 – анкер (Ø12..16 мм)                  5 – ниша в стене                  6 – шайба                  7 – гайка для натяжения                  8 – цементно-песчаный раствор</p>
<p>2.</p>	<p>Крепление стальными связями</p> <p>1 – продольная (поперечная) стена                  2 – поперечная (продольная) стена                  3 – перекрытие                  4 – стальной тяз (Ø20..25 мм)                  5 – уголок L 75x75x5                  6 – шайба</p>

**Усиление стены армированной штукатурной обоймой.**

При наклонных трещинах в местах примыкания стен и других местах, когда установка других типов обоев по экономическим или техническим соображениям затруднена, усиление стен производится армированной штукатурной обоймой (см. табл. 14.4).

Таблица 14.4 Усиление кирпичных стен

Схема усиления	
<p>1.</p>	<p>Устройство односторонней стенки</p> <p>1 – усиливаемая стена 2 – ж/б стенка 3 – арматурная сетка 4 – анкера в кладке 5 – скважины в стене 6 – подготовленная поверхность (очистка, насечка)</p>
<p>2.</p>	<p>Устройство стенки с двух сторон</p> <p>1 – усиливаемая стена 2 – арматура (<math>\text{Ø}10..14\text{ мм}</math>) 3 – хомуты-связи (<math>\text{Ø}10\text{ мм}</math>) 4 – сквозные отверстия 5 – арматурная сетка 6 – бетон</p>
<p>3.</p>	<p>Устройство преднапряженной штукатурной обоймы</p> <p>1 – усиливаемая стена 2 – металлические пластины 3 – тяжи-связи 4 – сквозные отверстия 5 – стержни приваренные к пластинам и стянутые 6 – сжимы 7 – арматурные сетки 8 – штукатурка</p>

Порядок производства работ:

1. Отбивают штукатурку с обеих сторон стены.
2. После расчистки трещины и швов кладки на глубину 10-15 мм промывают водой под давлением.
3. Закрепляют сетки марки 100/100/5/5, по ГОСТ 6478-66 с обеих сторон стены при помощи Z-образных анкеров, устанавливаемых в ранее просверленные отверстия в шахматном порядке через  $2d > S < 100\text{ см}$  по горизонтали и  $2d > S < 75\text{ см}$  – по вертикали, где  $d$  – толщина стены.

4. Тщательно заполняют просверленные отверстия цементным раствором М50 трещины и отверстия под анкеры в стене.
5. Производят оштукатуривание стены цементным раствором М50.

При надстройке здания с целью увеличения жесткости ниже лежащих конструкций и равномерного увеличения нагрузки используют устройство т.н. разгружающих поясов (см. табл.14.5).

Таблица 14.5 Усиление стен при надстройке

Схема усиления	
1.	2.
3.	4.
<p>1 – стена надстраиваемая; 2 – перекрытие надстраиваемого этажа; 3 – арматурные сетки; 4 – железобетонный пояс по периметру; 5 – продольная арматура (Ø16..32 мм); 6 – прокат металлический; 7 – бетон класса С12/15; 8 – арматурные стержни Ø12 мм</p>	

### Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите причины снижения пространственной жесткости зданий.
2. Какие способы вы знаете для восстановления пространственной жесткости зданий?
3. Как ограничивается развитие трещин в стенах?
4. Приведите примеры усиления стыка стен при его разрыве.
5. Какие способы усиления стен вы знаете?
6. Как усиливают кирпичные стены при надстройке зданий?
7. Назовите причины развития осадки фундамента здания.
8. С какой целью ставят контрфорсы у наружных стен?
9. Требуется ли контроль преднапряжения арматуры поясов и почему?
10. Назовите конструктивные требования при устройстве напряженных поясов здания.

## ТЕМА № 15. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 15.1. Общие положения по расчету (см. с. 1-15 [43])
- 15.2. Усиление кладки композитными материалами (см. с. 1-21 [36])
  - 15.2.1. Усиления центрально сжатых кирпичных колонн. Пример расчета №1.
  - 15.2.2. Расчет усиления кладки при действии изгибающего момента из плоскости стены. Пример расчета №2.
- 15.3. Усиление кладки периферийной заменой кладочного раствора. Пример расчета №3.
- 15.4. Усиление кирпичной кладки по технологии Sure Twist. Пример расчета №4.

### 15.1. Общие положения по расчету.

Среди традиционных способов усиления каменных конструкций наибольшее распространение получили стальные и железобетонные обоймы, металлические пояса и накладки, перекладка кладки и др. Большинство из них трудоемки в реализации, дорогостоящи, а применительно к историческим зданиям некоторые из них вообще неприменимы по эстетическим соображениям. Вследствие этого для ремонта и усиления каменных конструкций все большее применяют новые технологии и материалы. К последним, в частности, относятся композиты в виде ламелей, матов и сеток, изготавливаемых из углеродных, арамидных и стекловолокон. Их прочность зачастую превышает прочность стали, в связи с чем они используются для усиления не только каменных, но и железобетонных и даже металлических конструкций в качестве поверхностного армирования. Соединение таких материалов с усиливаемой конструкцией обычно осуществляется с помощью составов на основе эпоксидной смолы. Коммерческое название такой системы усиления за рубежом известно как FRP (Fibre Reinforced Polimers) или на основе полимерцементного раствора – FRCM (Fibre Reinforced Comentitious Matrix).

Поскольку материалы, используемые в рассматриваемых методах усиления, имеют достаточно высокую стоимость, эффективность их применения должна быть обоснована соответствующим расчетом. Армирующие элементы должны размещаться так, чтобы их направления (волокна сеток или спиралевидные связи) были перпендикулярны трещинам либо, при отсутствии последних, совпадали с траекторией главных растягивающих напряжений.

Перед обследованием каменных конструкций необходимо выявить их структуру, выделив несущие элементы. При обследовании несущих элементов важно учитывать их реальные размеры, расчетную схему, величины деформаций и разрушений, условия опирания на каменную кладку балок, плит и т. п., состояние арматуры (в армокаменных конструкциях), закладных деталей. Важно установить размеры и характер дефектов, разрушений: сколов и трещин. Необходимо выяснить, нарастают трещины во времени или нет. Для этого на трещины ставятся маяки.

Трещины в несущих каменных конструкциях соответствуют стадиям трещинообразования (или стадиям работы кладки при сжатии):

- первая стадия – появление первых волосяных трещин в отдельных камнях;
- вторая стадия – прирастание и объединение отдельных трещин;
- третья стадия – образование больших поверхностей разрушения и исчерпание прочности кладки.

Выделяют факторы, являющиеся причиной возможного образования трещин:

- а) низкое качество кладки, т.е. плохие растворные швы, несоблюдение перевязки швов, забутовка с нарушением технологии ее выполнения и т.п.;
- б) недостаточная прочность кирпича и раствора (трещиноватость и криволинейность кирпича; высокая подвижность раствора и т.п.);

в) совместное применение в кладке разнородных по прочности и деформируемости каменных материалов (например, глиняного кирпича с силикатным кирпичом или шлакоблоками);

г) использование каменных материалов не по назначению (например, силикатного кирпича в условиях повышенной влажности);

д) низкое качество работ, выполняемых в зимнее время (использование не очищенного от наледи кирпича; применение смерзшегося раствора);

е) отсутствие температурно-усадочных швов или недопустимо большое расстояние между ними;

ж) агрессивные воздействия внешней среды (кислотное, щелочное и солевое воздействия; попеременное замораживание и оттаивание, увлажнение и высушивание);

з) неравномерная осадка фундамента здания.

Необходимость в усилении строительных конструкций путем приклейки элементов внешнего армирования из высокопрочного и высокомодульного материала появляется в следующих основных случаях:

- повреждение строительной конструкции, которое привело к снижению ее несущей способности, жесткости и трещиностойкости;

- изменение условий эксплуатации, выражающееся, прежде всего, в изменении величины, характера и расположения нагрузок;

- изменение расчетной схемы конструкции;

- необходимость повысить надежность и долговечность конструкции.

Для обеспечения эффективного усиления технология должна гарантировать выполнение следующих условий:

- возможность монтажа элементов внешнего армирования на конструкции естественной влажности;

- возможность надежной приклейки к любым строительным материалам, которая обеспечивает передачу усилий со строительной конструкции на элемент внешнего армирования;

- механические свойства материалов, применяемых при усилении должны быть стабильны во времени. Это относится как к монтажному клею, так и к элементу армирования;

- модуль упругости и прочность элемента внешнего армирования должны быть представлены достаточно широкой линейкой, для эффективного применения на различных конструкциях из разных материалов;

Перечисленным выше требованиям вполне отвечают элементы внешнего армирования из высокопрочных и высокомодульных искусственных волокон, прежде всего углеродных и арамидных.

**Углеволокно** – высокопрочный, линейно упругий материал – основной для элементов внешнего армирования конструкций. Углеволокно представлено в виде хостов (wraps) и лент (laminats). Поскольку элементы внешнего армирования из углеволокна закрепляются на конструкции при помощи монтажного клея (эпоксидного, эпоксиполиуретанового или полимерцементного) они эффективно реагируют на приращение деформаций конструкции, в них возникают большие приращения усилий. Прежде всего, это свойство обусловило применение углеродного волокна при усилении железобетонных конструкций. Поскольку предельное удлинение углеволокна значительно больше, чем у бетона, в большинстве случаев рабочие усилия в углеволокне значительно меньше предельных и разрушение усиленного углеволокном образца как правило происходит по контактному слою между элементом внешнего армирования и бетоном. Исключением является работа поперечных бандажей колонн из углеволокна.

**Ламинаты** – углеродные волокна, строго ориентированные в одном направлении и омоноличенные (ламинированные) в полимере в виде жестких полос. Ламинаты приклеивают непосредственно на поверхности усиливаемых конструкций.

**Холсты** – гибкая ткань с однонаправленным и двунаправленным расположением волокон. Холсты при установке на конструкции утапливаются в полимерный клей – матрицу, обеспечивающую их плотное прилегание к поверхности.

Ламинаты и холсты с однонаправленными волокнами используют для восприятия продольных усилий изгибаемых, центрально и внецентренно сжатых элементов: плоских и ребристых плит, ригелей, балок, элементов ферм и т.д.

Холсты с двунаправленными волокнами применяют для усиления конструкций, работающих при сложном напряженном состоянии, для восприятия поперечной силы и сдвиговых усилий балок и ригелей каркасных зданий и т.д.

### **15.2. Усиление кладки композиционными материалами**

Основная сфера применения элементов внешнего армирования из углеволокна при усилении каменных конструкций – внецентренно-сжатые элементы, т.е. столбы, пилоны и простенки. При усилении этих элементов специалисты сталкиваются с проблемой включения в работу стальных обоев, монтируемых на конструкцию, в соответствии с традиционной концепцией усиления. Для обеспечения совместной работы стальной обоев и усиливаемого столба, как правило, пытаются создать в обоев начальные усилия путем нагрева хомутов и применения расширяющихся растворов. Технически это осуществимо, но достаточно трудоемко и нетехнологично.

Обои из углеволокна (углехолста) являются эффективной альтернативой стальным обоев, поскольку их включение в работу усиливаемого элемента обеспечивается просто во время монтажа холста на усиливаемый элемент через клеящий слой.

Натурные испытания кирпичных столбов, проведенные в лаборатории каменных конструкций ЦНИИСК в 2004 г. под руководством к.т.н. Грановского А.В., показали 1,5-2,0 кратное увеличение несущей способности кирпичных столбов, усиленных бандажами из углехолста.

Применение элементов внешнего армирования из углеволокна позволяет в широких пределах регулировать усилия в каменной конструкции, минимально нарушая ее целостность. Это в полной мере касается конструкций реконструируемых и реставрируемых зданий.

Отдельный вопрос – это усиление каменных стен, поврежденных в результате просадок фундаментов или имеющих отверстия в виде технологических, дверных, оконных проемов. Традиционным решением при усилении подобных элементов является установка стальных скоб, стальных профилей через анкерное крепление на стене в отдельных точках с последующей зачеканкой расширяющимися растворами. Применение элементов внешнего армирования из углеволокна для усиления перечисленных конструкций позволяет избежать установки точечных анкеров, вовлечь большой объем материала в работу отдельного элемента, реализовать имеющиеся резервы конструкции, при этом бережно относиться к неповрежденным участкам.

Система внешнего армирования для каменных конструкций наряду с достоинствами обладает и рядом недостатков, которые требуют их устранения при проектировании:

- для надежного сцепления материала усиления с конструкцией поверхность последней должна быть сухой и выровненной;
- работы по усилению должны осуществляться при положительной температуре и нормальной влажности воздуха для отверждения клея, а его малая живучесть требует быстроты приклеивания;
- клеевое соединение обладает низкой огнестойкостью, поскольку деструкция эпоксидного клея начинается при температуре 50-100 °С;
- учитывая органическое происхождение эпоксидных клеев, соединения с их помощью обладают низкой долговечностью из-за строения, их структуры;
- технология приклеивания на эпоксидном клее является вредной для здоровья;
- усиление должно выполняться высококвалифицированными рабочими и специализированными фирмами.

Отмеченных недостатков удастся избежать при использовании вместо клея специальных штукатурных растворов из неорганических минеральных материалов с модифицированными полимерными добавками. Технология усиления при этом заключается в следующем. На очищенную от штукатурки и загрязнений поверхность каменной кладки после ее увлажнения наносится слой клеящего штукатурного раствора толщиной 3мм, в который утапливается армирующая сетка из композиционных материалов. Затем наносится защитный штукатурный слой толщиной 8-10мм, поверхность которого подвергается финишной обработке. При необходимости, в защитный слой может утапливаться вторая сетка, обеспечивающая повышенную прочность усиления.

Такая система усиления известна за рубежом как FRCM (Fibre Reinforced Comenitious Matrix), а одной из ее разновидностей является система Ruredilx Mech. В указанной системе используют сетки из углеволокон, обладающие следующими механическими характеристиками: прочность на растяжение – 4800МПа; модуль упругости – 240 ГПа; деформативность при разрыве – 1,8 %. Рассматриваемая система обладает следующими достоинствами:

- простотой технологии;
- высокой сцепляемостью армирующего штукатурного слоя с поверхностью усиливаемой каменной кладки;
- высокой компатибельностью армирующего слоя с кирпичной кладкой, т.е. сближенными деформационными характеристиками (модули упругости, коэффициенты температурного расширения);
- высокой огнестойкостью и коррозионной стойкостью, паропроницаемостью и водостойкостью, что позволяет производить усиление каменных конструкций как изнутри, так и снаружи зданий.

К достоинствам рассматриваемого способа усиления следует отнести его универсальность и возможность применения для любых форм и очертаний усиливаемых конструкций (арки, своды).

В зарубежной практике рассматриваемый метод нашел широкое применение для усиления каменных зданий и сооружений, подвергаемых динамическим воздействиям (сейсмическим, техногенной вибрации).

**Используемые материалы.** Используемые на практике материалы приведены в таблицах 15.1 ... 15.4.

**Таблица 15.1. Физико-механические характеристики холста Sika Wrap Hex-230с**

№ п/п	Показатели	Характеристика
1.	Долговечность	Нет ограничения, нет коррозии
2.	Прочность волокон на растяжение, МПа	3500
3.	Деформации при отрыве, %	1,5
4.	Размеры, мм	305x0,13мм, 610x0,13мм
5.	Модуль упругости, МПа	230000
6.	Направление волокон	Однонаправленные

**Таблица 15.2. Технические характеристики эпоксидного состава Sikadur 330**

№ п/п	Показатели	Характеристика
1.	Вязкость	При t=+20 °С – паста
2.	Температура стеклования	7 суток при t=+15 °С
3.	Прочность на растяжение, МПа	30 МПа (через 7 суток)
4.	Адгезия к бетону	Разрушение бетона (через 1 сутки)
5.	Модуль упругости, МПа	3800
6.	Условия	Жизнеспособность 30 мин (при t=+23 °С)

**Таблица 15.3. Физико-механические свойства элементов ФАП (холсты от производителя)**

Марка производителя холстов	Тип	Толщина, мм	Ширина, мм	E, ГПа	Прочность растяжения $f_{yкс}$ , МПа	Деформации при разрыве, $\varepsilon_f$ , %	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>
Маре Wrap-c UNI-AX 300/10300/2030 0/40	B	0.167	100, 200, 400	230	4800	2.1	300
Маре Wrap-c UNI-AX 600/10 600/20600/40	B	0.335	100, 200, 400	230	4800	2.1	600

Условные обозначения: B – свойство исходного волокна

#### 15.4. Физико-механические свойства смол от производителя

Марка производителя смол	$t^1_{ж}$ , мин	$f_p$ , МПа	$\delta_p$ , %	$E_u$ , ГПа	$f_{pu}$ , МПа	$T_{прим.}$ °C	$T_{экс}$ °C
Маре Wrap 31	40	30	1.2	3.8	70	5-30	-
Маре Wrap 21	40	30	1.2	2.5	55	10-30	-
Маре Adesilex PG	30	-	-	-	-	5-30	-

Время жизнеспособности при температуре +20°C

**Устройство системы внешнего армирования.** СВА элементами из углеродных волокон FibARM предполагает выполнение следующих операций: - подготовка поверхности кладки; - подготовка элементов СВА; - подготовка клея (адгезива); - наклейка усиливающих элементов; - нанесение защитного покрытия.

**Общие требования.** Наклейка СВА не должна препятствовать миграции влаги из тела СК (в каждом поперечном сечении лентами СВА может быть охвачено не более 50% периметра; в плитных СК шаг лент должен быть не более 200 мм).

Не допускается попадание осадков, наличие грязи в зону наклейки, а температура окружающей среды должна быть в интервале +5°C...+45°C. Температура основания должна быть не ниже +12°C и на 3°C выше точки росы (из условия появления конденсата). Относительная влажность окружающей среды должна быть не более 80%, а влажность поверхности не более 4%.

**Подготовка поверхности.** Усиливаемая кладка должна иметь: кирпич не ниже М35; раствор – не ниже М15; временное сопротивление осевому растяжению по неперевязанному шву не менее 0,6 кг/см<sup>2</sup> (0,06 МПа). Поверхность кладки не должна иметь скола, раковины, каверны глубиной более 5 мм и слабого материала. Выравнивание поверхности осуществляется полимерцементным раствором. Трещины раскрытием более 0,3 мм ремонтируются инъектированием в трещины низковязкого эпоксидного или полиуретанового состава. Трещины раскрытием менее 0,3 мм затирают полимерцементным раствором. Угловые зоны должны иметь: по внешней кромке – фаску с катетом не менее 25мм; по внутренней – галтель с катетом не менее 40 мм из материала прочностью на сжатие не ниже 15 МПа, адгезией к материалу кладки не ниже 15 МПа. Подготовка поверхности выполняется любым механическим способом, обеспыливание – водой под давлением не ниже 10 атм., сушка – сжатым воздухом.

**Подготовка усиливающих элементов.** Необходимо соблюдение следующих требований: работы выполнять в резиновых перчатках; отсутствие на ленте загрязнений; раскрой производить в закрытом помещении; не допускается: повреждение углеродных волокон, разделение ленты на жгуты, перегиб ленты поперек волокон (только сматывание в рулон).



**Подготовка клеящего состава (адгезива).** Приготовление состоит из следующих операций: смешивание компонентов по техническому регламенту; в таре ёмкостью не менее 3 литров; перемешивание выполнять до однородной массы (не менее 2 мин) низкооборотной дрелью (не более 500об/мин) с целью ограничения аэрации смеси; готовый адгезив хранят в закрытой таре с маркировкой; жизнеспособность клея FibARM Resin составляет не менее 40мин (при температуре среды 25°C).

**Наклейка элементов СВА.** Выполняют в следующей последовательности: нанесение адгезива шпателем на подготовленную поверхность; укладка элемента СВА с прикаткой резиновым валиком (отклонение элемента СВА от проекта не более 5%, не допускаются складки и прикатка поперек углеродных волокон, нахлест лент должен быть вразбежку с удалением на 400 мм); по поверхности последнего (финишного) слоя СВА нанести адгезив и присыпать мелким сухим песком (фракция 0,5...1,0мм); время отверждения – 24 часа (при  $t \geq 20^\circ\text{C}$ ); 36 часов (при  $t = 5 \dots 20^\circ\text{C}$ ).

**Защита элементов СВА.** После набора прочности адгезива на поверхность элементов СВА наносят защитное полимерцементное покрытие (1 слой) следующего состава: ПЦ М500 – 1 литр; песок кварцевый с Мк 1.5-2.0 по ГОСТ 8736 – 0.4 л; полимер – Примал У-40 – 0.15 л; вода – 0,25 л).

### 15.2.1. Расчет усиления центрально сжатых кирпичных колонн.

При усилении кирпичной колонны устройством обоймы из СВА увеличение несущей способности кладки обеспечивается путем учета коэффициента внешнего армирования, что ведет к росту расчетного сопротивления кладки (см.рис.15.).

Проверяется условие

$$N_{sd} \leq N_{Rd} = m_q \cdot \varphi \cdot R_{cf} \cdot A, \quad (15.1)$$

где  $m_q$  – коэффициент, определяющий по п.4.7 [11]. При  $h \geq 30\text{см}$  и  $i \geq 8.7\text{ см}$  значение  $m_q = 1$ ;

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба определяется по п.4.1...4.6 и табл.18 [11] с учетом упругой характеристики кладки  $\alpha$  (см. табл. 15) [11] и гибкости элемента  $\lambda_n = l_0/h$  или  $\lambda_i = l_0/r$ ;

$A$  – площадь поперечного сечения элемента;

$R_{cf}$  – расчетное сопротивление усиленной СВА кирпичной кладки.

$$R_{cf} = R + (2 \cdot \mu_f \cdot R_{fd})/100 \leq 2 \cdot R \quad (15.2)$$

$R$  – расчетное сопротивление кирпичной кладки до усиления по табл.2...8[11];

$\mu_f$  – коэффициент поверхностного армирования кладки

$$\mu_f = \frac{A_f}{S_{fc}} \cdot 100 \quad (15.3)$$

$A_f$  – площадь поперечного сечения полосы СВА

$$A_f = 2 \cdot t_f \cdot h_f, \quad (15.4)$$

где  $t_f$  и  $h_f$  – толщина и ширина ленты (полосы) СВА

$S_{fc}$  – площадь более длинного участка кирпичной кладки приходящаяся на одну полосу (ленту)

$$S_{fc} = 2 \cdot h \cdot (h_f + l_c) \quad (15.5)$$

$R_{fd}$  – расчетное сопротивление на растяжение СВА с учетом коэффициента надежности ( $\gamma_f$ ) и коэффициента условий работы ( $C_E$ )

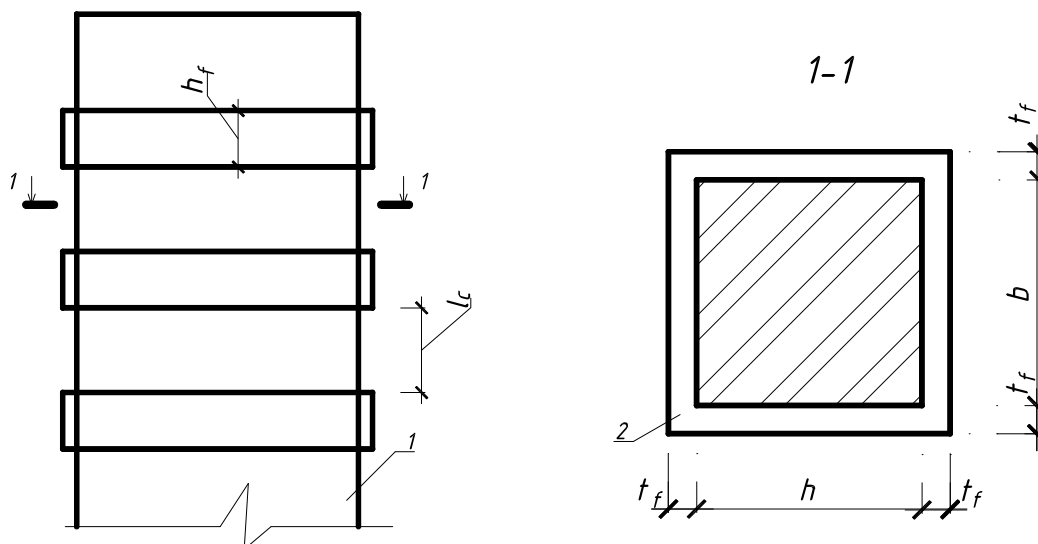
$$R_{fd} = \frac{C_E \cdot R_{fk}}{\gamma_f}, \quad (15.6)$$

где  $C_E$  – коэффициент условия работы для углеродных тканей FibARM с учетом условий окружающей среды:  $C_E = 0,9$  – нормальная среда помещений;  $C_E = 0,8$  – агрессивная среда или эксплуатация на открытом воздухе;

$\gamma_f$  – значение коэффициента надежности для расчета по первой группе предельных состояний с учетом типа СВА:  $\gamma_f = 1,2$  – для однонаправленных углеродных лент СВА;  $\gamma_f = 1,8$  – для двунаправленных углеродных лент СВА.

### Пример расчета №1

По результатам обследования: кирпичный столб (колонна) высотой 6.5 м, сечением  $b \times h = 640 \times 640$  мм из глиняного кирпича пластического прессования; на поверхности кладки имеются волосяные трещины ( $w_k=0.2$  мм) пересекающие не более 2-х рядов кладки ( $k_{mp} = 0.9$ ), кладка неармированная, расчетное сопротивление кладки определенные расчетом и испытанием кирпича (М37) и раствора (М18) составляет  $R=0.72$  МПа. Нагрузка (расчетное значение, после реконструкции, приложена центрально) составляет  $N_{sd}=280$ кН (см. рис.15.1).



1 - кирпичный столб; 2 – полоса СВА

**Рисунок 15.1 – К расчету усиления кирпичного столба с помощью СВА**

1. Проверим прочность кирпичного столба

$$N_{sd} \leq m_q \cdot \varphi \cdot k_{mp} \cdot R \cdot A, \text{ где}$$

$$\alpha = 750 \text{ (см. табл.15[11])}$$

$$m_q = 1, \text{ т.к. } h > 300 \text{ мм}$$

$$\varphi = 0.84 \text{ при } \lambda = l_0/h = \frac{H}{h} = \frac{6500}{640} = 1.15 \text{ и } \alpha = 1000 \text{ по табл. 18[11]}$$

$$N_{sd} = 280 \text{ кН} > 1.0 \cdot 0.84 \cdot 0.9 \cdot 0.72 \cdot (640 \cdot 640) = 222.95 \text{ кН}$$

Условие не выполняется, требуется выполнить усиление кирпичной колонны.

2. Выполним усиление кирпичного столба композитными материалами системы внешнего армирования (СВА) из углеродных лент посредством устройства бандажа для создания обоймы (система FRCM, а именно ее разновидность, система Ruredils Mech). Используем сетку в виде ленты со следующими характеристиками: ширина  $b_f=300$ мм, толщина  $t_f=0.167$  мм, с однонаправленным расположением углеродных волокон, прочность на растяжение  $f_{fk}=4800$  МПа,  $E_{fk}=240000$  МПа, деформативность при разрыве  $\varepsilon_{fk} = 0.018$ . клеящий состав полимерцементный раствор.

С целью устройства обоймы подготавливаем поверхность и снимаем фаску по углам с катетом 25 мм.

Определим расчетное сопротивление кладки работающей в условиях обоймы из композитного материала.

$$R_{cf} = R + \frac{2 \cdot \mu_f \cdot R_{fd}}{100} \leq 2 \cdot R$$

Коэффициент поверхностного армирования определяется

$$\mu_f = \frac{A_f}{S_f} \cdot 100 = \frac{100.2}{640000} \cdot 100 = 0.016\%, \text{ где}$$

$A_f$  – площадь сечения ленты СВА

$$A_f = 2 \cdot b_f \cdot t_f \leq 2 \cdot 300 \cdot 0.167 = 100.2 \text{ мм}^2$$

$S_{fc}$  – площадь кирпичной кладки приходящейся на одну полосу (ленту)

$$S_f = 2 \cdot h \cdot (h_f + l_c) = 2 \cdot 640 \cdot (300 + 200) = 640000 \text{ мм}^2, \text{ где}$$

$l_s$  – расстояние в свету между лентами при шаге лент  $S=500$  мм

$$l_s = S - h_f = 500 - 300 = 200 \text{ мм}$$

Расчетное сопротивление ленты СВА определится

$$f_{fd} = \frac{C_E \cdot f_{fk}}{\gamma_f} = \frac{0.9 \cdot 4800}{1.2} = 3600 \text{ МПа}$$

$$R_{cf} = 0.72 + \frac{2 \cdot 0.016 \cdot 3600}{100} = 1.872 \text{ МПа} > 2 \cdot R = 1.44 \text{ МПа}$$

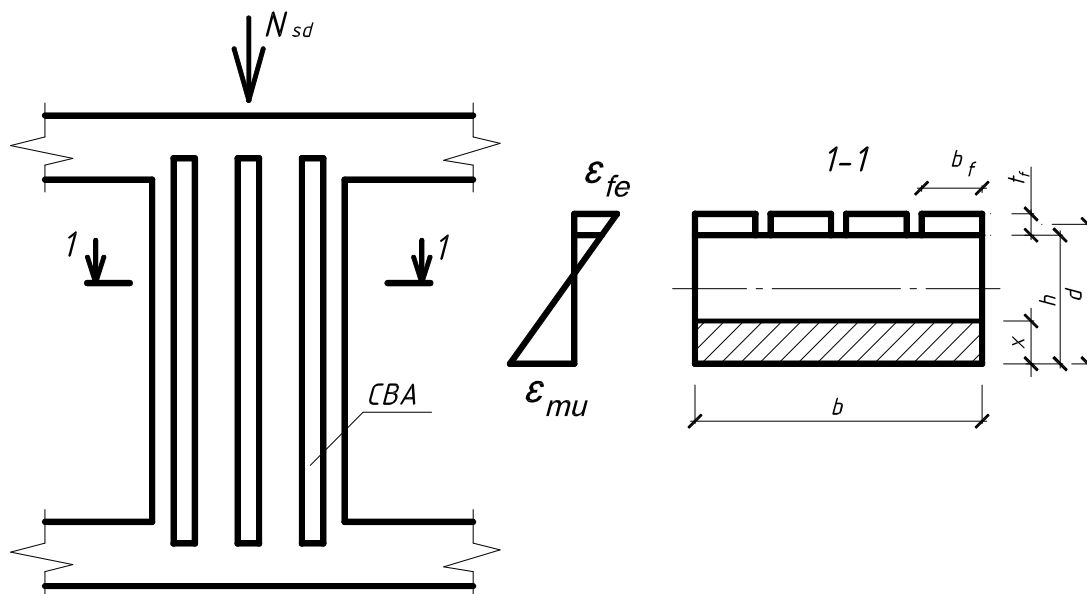
Проверяем условие

$$280 \text{ кН} < 1 \cdot 0.84 \cdot 0.9 \cdot 1.44 \cdot (640 \cdot 640) = 445.9 \text{ кН}$$

Условие выполняется, прочность обеспечена.

### 15.2.2. Расчет усиления кладки на действие момента из плоскости стены

При расчете кирпичной кладки на действие изгибающего момента из плоскости стены используют следующие предпосылки (см.рис.15.2):



**Рисунок 15.2 – К расчету усиления внецентренно сжатого простенка**

- напряжения в элементе СВА прямо пропорциональны расстоянию от нейтральной оси;
- значения предельных относительных деформаций принимать не более: у раствора – 0,0025; у кирпича – 0,0035;
- углеволокно работает в упругой стадии (линейно) до достижения предельной нагрузки;
- работу кирпичной кладки на растяжение и углеволокна на сжатие не учитывают;
- проскальзывание (отслоение) углеволокна на поверхности кирпичной кладки отсутствует;
- при соотношении высоты стены к толщине менее 8 ( $H/h < 8$ ); выгибом (изгиб из плоскости) можно пренебречь;
- разрушение может быть от разрушения кладки на сжатие и отслоения элементов СВА от поверхности кладки.

Проверяется условие

$$M_{sd} \leq M_{Rd} \cdot A_f \cdot R_{fe} \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot x}{2}\right) - N_{sd} \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{\beta_1 \cdot x}{2}\right) \quad (15.7)$$

$\beta_1 = 0.7$  – коэффициент приведения криволинейной эпюры напряжений в сжатой зоне к прямоугольной

$M_{sd}$  – изгибающий момент от внешней нагрузки в рассматриваемом сечении

$A_f$  – площадь поперечного сечения элементов СВА

$$A_f = n \cdot t_f \cdot b_f \quad (15.8)$$

$R_{fe}$  – расчетное значение эффективного напряжения в элементах СВА из условия отслоения

$$R_{fe} = E_f \cdot \varepsilon_{fe} \quad (15.9)$$

$\varepsilon_{fe}$  – предельные деформации в материале СВА из условия как отслаивания элементов СВА (нарушение сцепления с поверхностью кладки), так и разрушения кладки при сжатии

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{mu} \cdot \left( \frac{h-x}{x} \right) \leq \frac{k_m \cdot \varepsilon_{fd}}{C_E \cdot \varepsilon_{fd}} \quad (15.10)$$

Значение коэффициента  $k_m$  принимается меньшим из двух условий.

Коэффициент условия работы СВА зависит от жесткости элемента

$$k_m = \frac{1}{60 \cdot \varepsilon_{fd}} \cdot \left( 1 - \frac{n \cdot E_{fd} \cdot t_f}{360000} \right) \leq 0.9 \text{ при } n \cdot E_{fd} \cdot t_f \leq 180000$$

$$k_m = \frac{1}{60 \cdot \varepsilon_{fd}} \cdot \left( \frac{90000}{n \cdot E_{fd} \cdot t_f} \right) \leq 0.9 \text{ при } n \cdot E_{fd} \cdot t_f > 180000$$

$C_E = 0.9$  – для усиления СК внутри помещений с неагрессивной средой

$C_E = 0.8$  – тоже на открытом воздухе или в условиях агрессивной среды

Расчетное значение деформаций СВА.

$$\varepsilon_{fd} = \frac{R_{fd}}{E_{fd}} = \frac{C_E \cdot R_{fk}}{\gamma_f \cdot E_{fd}}, \quad (15.11)$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности при расчете по предельным состояниям первой группы:  $\gamma_f = 1.2$  – для однонаправленных углеродных лент;  $\gamma_f = 1.8$  – для двунаправленных углеродных лент.

Предельное значение деформаций кирпичной кладки при сжатии

$$\varepsilon_{mu} = \nu \cdot \frac{\sigma}{E_0} = \nu \cdot \frac{R_u}{\alpha \cdot R_u} = \frac{\nu}{\alpha}, \quad (15.12)$$

где  $R_u$  – временное сопротивление (средний предел прочности кладки)

$$R_u = k \cdot R \quad (15.13)$$

Значение коэффициента:  $k = 200$  для кладки из кирпича и бута;  $k = 2.25$  для кладки из блоков ячеистого бетона

$E_0$  – начальный модуль деформаций кладки

$$E_0 = \alpha \cdot R_u \quad (15.14)$$

$\alpha$  – упругая характеристика неармированной кладки (по таблице 15 [11])

$\nu$  – коэффициент, учитывающий ползучесть кладки (по таблице 3.23 [11])

## Пример расчета № 2

Требуется обеспечить прочность простенка сечением  $b \times h = 1160 \times 510$  мм и высотой 4,2 м здания на нагрузку после реконструкции. Простенок выполнен из глиняного кирпича пластического прессования М100 на растворе М50 (расчетное сопротивление кладки 1,5 МПа). Дефекты отсутствуют. Действующие усилия (расчетное значение): продольная сила  $N_{sd} = 200$  кН, изгибающий момент  $M_{sd} = 40$  кНм. (см.рис.15.3).

1. Проверим несущую способность простенка по условию

$$N_{sd} \leq N_{Rd} = m_q \cdot \varphi_1 \cdot R \cdot A_c \cdot \omega$$

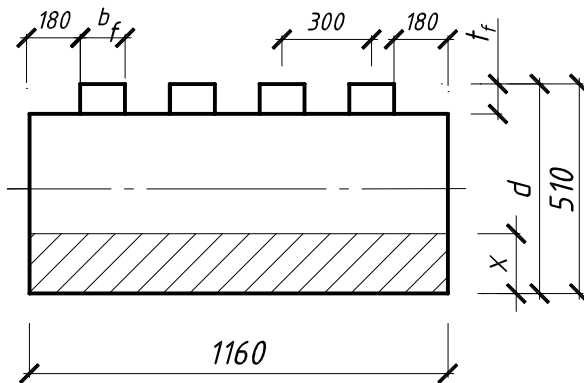
$\varphi_1$  – коэффициент продольного изгиба

$$\varphi_1 = (\varphi + \varphi_c) \cdot 0.5 = (0.93 + 0.31) \cdot 0.5 = 0.62$$

$\varphi = 0,93$  по табл. 18[11] с учетом  $\alpha = 1000$  (табл. 15[11])

$$\lambda = \frac{l_0}{h} = \frac{0,9 \cdot H}{h} = \frac{0,9 \cdot 420}{51} = 7,41$$

$$\varphi_1 = 0,31 \text{ и } \lambda = \frac{l_0}{h_c} = \frac{4200}{110} = 38,2$$



**Рисунок 15.3 – К расчету усиления элементами СВА**

Высота сжатой зоны определится

$$h_c = h - 2 \cdot e_0 = 510 - 2 \cdot \frac{M_{Sd}}{N_{Sd}} = 510 - 2 \cdot \frac{40 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^3} = 110 \text{ мм}$$

$$\omega = 1 + \frac{e_0}{h} = 1 + \frac{0,2}{0,51} = 1,39 < 1,45 \text{ по табл. 19[11]}$$

Проверяем условие

$$200 \text{ кН} > 1,0 \cdot 0,62 \cdot 1,5 \cdot (110 \cdot 1160) \cdot 1,39 = 164,94 \text{ кН}$$

Условие не выполняется, требуется усиление простенка.

2. Усиление простенка проектируем с использованием системы внешнего армирования (СВА) из композитных материалов. Используем систему FRP с наклейкой на растянутую (наружную) поверхность простенка холста (лент) из углеродного волокна с помощью эпоксидного адгезива. Характеристика используемых материалов: холст с однонаправленным расположением углеродных волокон марки Mape Wrap-C INI-AX, тип В: толщина  $t_f = 0,167$  мм, ширина  $b_f = 100$  мм, модуль деформаций  $E_{fk} = 230000$  МПа, прочность на растяжение  $f_{fk} = 4800$  МПа, деформации при разрыве  $\varepsilon_f = 0,021$ . Усиление, после устройства подлежит защите штукатурным покрытием. Наклейка производится по подготовленной поверхности кирпичной кладки.

Для обеспечения прочности необходимо выполнение условия:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} = A_f \cdot R_{fe} \cdot \left( d - \frac{\beta_1 \cdot x}{2} \right) + N_{Sd} \cdot \left( \frac{h}{2} - \frac{\beta_1 \cdot x}{2} \right)$$

$A_f$  – площадь сечения элементов СВА

$$A_f = n \cdot b_f \cdot t_f = 3 \cdot 100 \cdot 0,167 = 50,1 \text{ мм}^2$$

$$d = h + 0,5 \cdot t_f = 510 - 0,167 \cdot 0,5 \approx 510 \text{ мм}$$

$\beta_1 = 0,7$  – коэффициент приведения криволинейной эпюры напряжений в сжатой зоне к прямоугольной;

$R_{fe}$  – расчетное значение эффективного напряжения в элементах СВА

$$R_{fe} = E_{fd} \cdot \varepsilon_{fe} = 230000 \cdot 0,0111 = 2553 \text{ МПа}$$

$\varepsilon_{fe}$  – предельные деформации в материале СВА из условия как отслаивания композитного материала от поверхности кладки, так и разрушения кладки при сжатии

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{mu} \cdot \left( \frac{h-x}{x} \right) \leq k_m \cdot \varepsilon_{fd}$$

$$\varepsilon_{fe} = 0,022 \cdot \left( \frac{510-337}{337} \right) = 0,0112 \leq 0,0113 = 0,815 \cdot 0,0139$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{mu} \cdot \left( \frac{h-x}{x} \right) \leq C_E \cdot \varepsilon_{fd}$$

$$\varepsilon_{fe} = 0,022 \cdot \left( \frac{510-339}{339} \right) = 0,0111 \leq 0,0111 = 0,8 \cdot 0,0139$$

$$T. \text{ к. } n \cdot E_{fd} \cdot t_f = 3 \cdot 230000 \cdot 0.167 = 115230 < 180000$$

$$k_m = \frac{1}{60 \cdot \varepsilon_{fd}} \cdot \left(1 - \frac{n \cdot E_{fd} \cdot t_f}{360000}\right) \leq 0.9$$

$$k_m = \frac{1}{60 \cdot 0.0139} \cdot \left(1 - \frac{115230}{360000}\right) = 0.815 \leq 0.9$$

Расчетное значение деформаций материала СВА.

$$\varepsilon_{fd} = \frac{R_{fd}}{E_{fd}} = \frac{C_E \cdot R_{fk}}{\gamma_f \cdot E_{fd}} = \frac{0.8 \cdot 4800}{1.2 \cdot 230000} = 0.0139$$

где  $C_E = 0.8$  – при эксплуатации СВА на открытом воздухе;

$\gamma_f = 1.2$  – для однонаправленного материала СВА.

Предельное значение деформаций кирпичной кладки при сжатии

$$\varepsilon_{mu} = \nu \cdot \frac{\sigma}{E_0} = \nu \cdot \frac{R_u}{\alpha \cdot R_u} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{2.2}{1000} = 0.022$$

$\nu = 2.2$  – коэффициент ползучести (п. 3.23 [11]);

$\alpha = 1000$  – упругая характеристика кладки (табл. 15 [11])

При  $\varepsilon_{fe} = C_E \cdot \varepsilon_{fd} = 0.0111$  значение высоты сжатой зоны определится

$$x = \frac{\varepsilon_{mu} \cdot h}{\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{mu}} = \frac{0.022 \cdot 510}{0.0111 + 0.022} = 339 \text{ мм}$$

Проверяем условие

$$M_{Sd} = 40 \text{ кНм} \leq M_{Rd} = 50.1 \cdot 2553 \cdot \left(510 - \frac{0.7 \cdot 339}{2}\right) + 200 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{510}{2} - \frac{0.7 \cdot 339}{2}\right) =$$

$$= 50.05 + 27.27 = 77.32 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 77.32 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Условие выполняется, прочность простенка обеспечена.

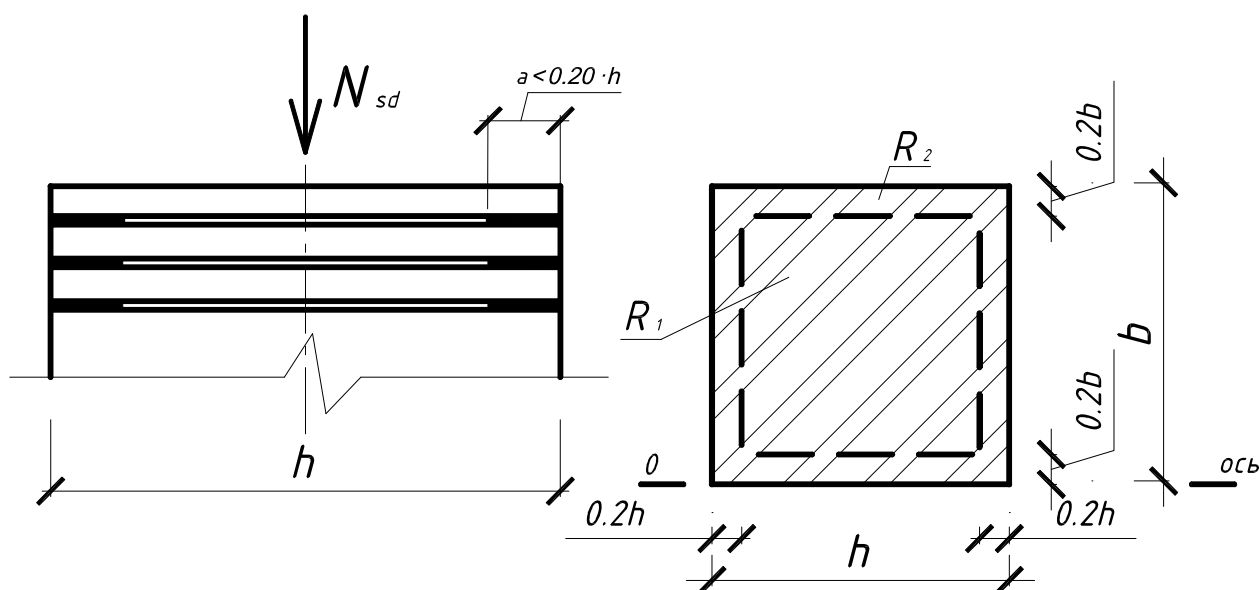
### 15.3. Усиление кладки периферийной заменой кладочного раствора.

Процессы восстановления и повышения несущей способности кирпичных стен традиционными способами (железобетонные рубашки, обоймы и т.д.) связаны с рядом проблем, обусловленных необходимостью восприятия нижележащими конструкциями и основаниями фундаментов дополнительных нагрузок от массы, вводимых в конструкцию усиливающих слоев. Так, при устройстве двусторонней железобетонной рубашки с толщиной слоя 5 см дополнительная масса на 1 м<sup>2</sup> усиливаемой стены составляет 250 кг. К недостаткам этих способов можно отнести их высокую материалоемкость, многодельность, уменьшение в чистоте внутренних размеров помещения и т.д.

Сущность предложенного в 1996 году фирмой «Евроконстракшн» нового способа повышения несущей способности кирпичных стен с низкой маркой кладочного раствора заключается в периферийной замене в горизонтальных швах кладки существующего раствора на полимерцементный превосходящий по адгезионным и когезионным свойствам аналогичные показатели кирпичной кладки. Преимуществом этого способа наряду с экономией материалов и трудозатрат является возможность осуществления ремонтно-восстановительных мероприятий без повышения массы стены и без уменьшения внутренних размеров помещений (см.рис.15.4).

Экспериментально-теоретическими исследованиями эффективности предложенного способа усиления кирпичных стен, проведенными в 1997 году в ТбилЗНИИЭП и ЦНИИСК им. Кучеренко, установлено, что периферийная замена кладочного раствора на полимерцементный (на глубину 12 см) в горизонтальных швах кладки повышает несущую способность усиленных образцов в сравнении с контрольным на 40-50%. Испытанию крупномасштабных образцов предшествовало определение прочностных и адгезионных свойств применяемых материалов согласно действующим ГОСТам. Анализ полученных результатов исследований когезионных свойств применяемых материалов свидетельствует о значительном превышении прочностных характеристик полимерцементного раствора относительно цементного при различных видах загрузки. При этом, в соответствии с результатами исследований

наибольший эффект (увеличение прочности) наблюдается при воздействии как центрально-осевых растягивающих усилий, так и при изгибе.



**Рисунок 15.4 – К расчету усиления полимерцементным раствором**

Наряду с исследованиями прочностных характеристик применяемых материалов с целью определения адгезионных свойств были проведены испытания мелкоштабных образцов, составленных из двух кирпичей с цементной или полимерцементной прослойкой, на воздействие различных видов нагрузок. Результаты свидетельствуют о увеличении разрушающих напряжений в образцах с полимерцементной прослойкой по сравнению с цементной, что обусловлено высокими адгезионными свойствами полимера.

На научно-экспериментальной базе ТбилЗНИИЭП в 1998 году были проведены экспериментальные исследования эффективности усиления кирпичных стен методом периферийной замены кладочного раствора на полимерцементный не только в горизонтальных, но и вертикальных швах кладки. Кладка образцов выполнялась из керамического кирпича пластического формования марки «75», толщина растворных швов 10-12 мм. При нагружении в обычных образцах сначала образовывались вертикальные трещины от верхнего торца образца. С увеличением нагрузки наряду с развитием этих трещин появлялись новые, параллельные предыдущим, равномерно распределенные по граням образцов. Окончательное разрушение происходило от развития и слияния этих трещин. Трещинообразование во всех усиленных образцах начиналось с появления отдельных трещин в их средней трети по высоте, не достигая верхней и нижней граней. Это может быть объяснено влиянием внутренних распорных усилий, образующихся в результате низкой прочности и повышенной деформативности внутреннего не усиленного сердечника в кладке с заведомо слабым цементным раствором. Максимальной деформативностью при сжатии обладал не усиленный контрольный образец; она при сжатии и растяжении значительно превышала те же показатели усиленных образцов.

Экспериментальные исследования, проведенные на научно-экспериментальной базе ТбилЗНИИЭП, позволили установить повышение несущей способности образцов, усиленных предложенным способом только в горизонтальных швах кладки – на 43%, только в вертикальных швах кладки – на 24 %, в горизонтальных и в вертикальных швах кладки – на 62 %. Применение предложенного способа в практике ремонтно-восстановительных работ дает возможность повысить несущую способность существующих кирпичных стен, не увеличивая их первоначальную массу.

## Расчет прочности центрально и внецентренно сжатых элементов с усиленной раствором частью.

### Центрально сжатый элемент.

Проверяем условие

$$N \leq m_q \cdot \varphi \cdot R_{red} \cdot A, \quad (15.15)$$

где  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба по п. 4.2.[11]

$m_q$  – коэффициент учитывающий длительность действия нагрузки (по п. 4.7.[11])

$R_{red}$  – приведенное расчетное сопротивление кладки с усиленной раствором составляющей.

Существующая кладка из кирпича марки  $M_{к1}$  с раствором марки  $M_{р1}$  (расчетное сопротивление кладки  $R_1$ ) нуждается в усилении. По периметру сжатого элемента в горизонтальных швах на глубину  $0,2h$  ( $0.2b$ ) удаляется существующий раствор и заменяется на полимерцементный раствор большей прочности. Предлагаемое усиление рекомендуется выполнять при прочности существующего раствора М10 и ниже. Полимерцементный раствор следует использовать марки М50. В качестве полимерной добавки допускается использовать поливинилацетатную дисперсию ПВА50% концентрации по ГОСТ 18992 в количестве 10% по массе вяжущего. Введение добавки обеспечивает повышенную адгезию (сцепление) нового состава с кирпичом.

$$R_{red} = \sum_i^n R_i \cdot S_{ci} / \sum_i^n S_{ci} \leq 1.4 \cdot R_1, \quad (15.16)$$

где  $R_1$  – расчетное сопротивление кладки с учетом  $M_{к1}$  и  $M_{р1}$  по т. 2-9[11]

$R_2$  – расчетное сопротивление кладки с учетом  $M_{к1}$  и  $M_{р2}$

$S_1 = 0.18 \cdot h \cdot b^2, S_2 = 0.32 \cdot h \cdot b^2$  (см. рис.15.4)

### Внецентренно сжатые элементы.

Проверяем условие

$$N \leq m_q \cdot \varphi_1 \cdot R_{red} \cdot A \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot e_0}{h}\right) \cdot \omega \quad (15.17)$$

где  $A_c = A \cdot \left(1 - \frac{e_0}{h}\right)$  - площадь сжатой зоны.

Данный способ замены рекомендуется при действии нагрузки с малым эксцентриситетом, не выходящим за пределы ядра сечения ( $e_0 \leq 0.17 \cdot h$  для прямоугольного сечения);

$m_q, \varphi_1, \omega$  – определяются по п. 4.7 [11]

### Пример расчета №3

После реконструкции на кирпичный столб будет действовать расчетная нагрузка  $N_{sd} = 200$  кН, приложена центрально. Характеристика кирпичного столба: поперечное сечение  $b \times h = 510 \times 510$  мм, высота  $H=6,8$  м, выполнен из керамического кирпича М75 на растворе М10. Дефекты отсутствуют.

1. Проверим несущую способность кирпичного столба

$N_{sd} \leq N_{Rd} = m_q \cdot \varphi \cdot R \cdot A$ , где

$m_q = 1$  по п. 4.7. [11];

$\varphi = 0,806$  по табл. 18[11] при

$\lambda = \frac{l_0}{h} = \frac{H}{h} = \frac{4800}{510} = 13.33$  и  $\alpha = 1000$  (по табл. 15 [11])

$R = 0.9$  МПа – по табл. 2 [11]

$N_{sd} = 200.0$  кН  $> 1.0 \cdot 0.806 \cdot 0.9 \cdot 510 \cdot 510 = 188676.5$ кН = 188.67кН

Условие не выполняется, требуется усиление кладки.



2. Усиление кладки выполняем заменой части кладочного раствора М10 на полимерцементный раствор М50. Работы производить при максимальной разгрузке кладки. По периметру удаляется из горизонтальных швов существующий раствор на глубину

$0,2 \cdot b = 0,2 \cdot 510 = 100$  мм и заменяется на полимерцементный.

Приведенное значение расчетного сопротивления кладки определяется:

$$R_{red} = \frac{R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{0,9 \cdot 238,77 \cdot 10^5 + 1,3 \cdot 424,48 \cdot 10^5}{238,77 \cdot 10^5 + 424,48 \cdot 10^5} =$$

$$= 1,16 < 1,4 \cdot R_1 = 1,4 \cdot 0,9 = 1,26 \text{ МПа,}$$

$$\text{где } S_1 = 0,18 \cdot h \cdot b^2 = 0,18 \cdot 510 \cdot 510^2 = 238,77 \cdot 10^5 \text{ мм}^3;$$

$$S_2 = 0,32 \cdot h \cdot b^2 = 0,32 \cdot 510 \cdot 510^2 = 424,48 \cdot 10^5 \text{ мм}^3$$

$R_2 = 1,3$  при марке кирпича М75 и раствора М50 (табл. 2 [11]).

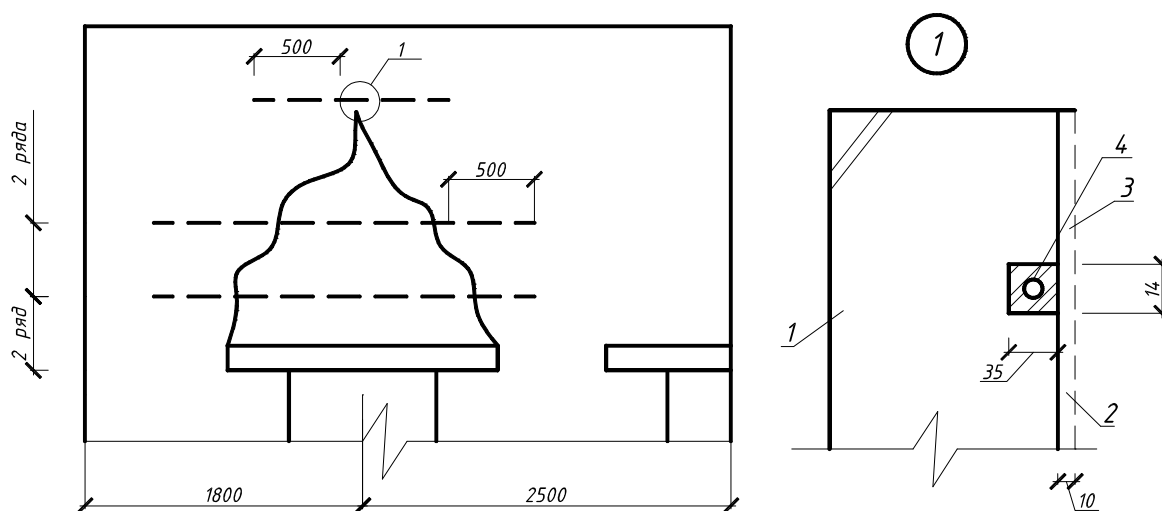
Проверяем условие.

$$N_{sd} = 200,0 \text{ кН} < 1,0 \cdot 0,806 \cdot 1,16 \cdot 510 \cdot 510 = 243183,1 \text{ Н} = 243,18 \text{ кН}$$

Условие выполняется, прочность обеспечена.

#### 15.4. Усиление кирпичной кладки по технологии Sure Twist

Эффективным методом усиления каменных конструкций, широко распространенным в странах Европы на протяжении последних 15 лет, является усиление с использованием спиралевидных связей и анкерных соединений. В Республике Польша данный метод усиления каменных конструкций применяется с 1999 г. и известен под названием «Brutt Tehnologies». Он основан на применении спиралевидных стержней «Brutt profile», утапливаемых в специальный раствор «Brutt Saver Powder». Раствор укладывается в предварительно прорезанные в швах кладки щели или просверленные в ее теле отверстия. Спиралевидные связи изготавливаются из высокопрочной нержавеющей стали, которые устойчивы в щелочной среде. Наиболее часто в практике усиления каменных конструкций применяются связи диаметром 6, 8 и 10 мм. В необходимых случаях могут применяться и связи большего диаметра 12-14 мм. Длина связей может достигать 10м, связи можно укладывать с нахлестом, изгибать, соединять с помощью вязальной проволоки. Использование данного вида усиления позволяет устранить практически все распространенные виды конструктивных дефектов каменных конструкций, нанося минимальные повреждения внешнему облику последних (см.рис.15.5).



1-кирпичная кладка; 2 – штукатурка; 3 – раствор Sure Ggrout;  
4 – анкерный стержень Sure Twist

**Рисунок 15.5 – К расчету усиления стержнями Sure Twist**

Спиралевидное ребро позволяет также производить установку связей методом забивания или вкручивания в материал основания при помощи ручного электроинструмента со специальной установочной насадкой-адаптером. В основание из ячеистого бетона и пустотелого кирпича связи устанавливаются при помощи химических анкеров. Спиралевидная связь дает возможность производить закрепления практически в любых строительных материалах, при минимальных расстояниях от края конструкции и осями креплений. По мнению специалистов, метод усиления с помощью спиралевидных связей позволяет решать задачи сохранения оригинального внешнего облика зданий старой застройки, его можно использовать как одно из новейших инновационных средств усиления кирпичной облицовки в многослойных стенах.

С целью понимания сути предлагаемого метода здесь приводится и технология и расчет усиления кладки по технологии Sure Twist.

**Область применения и преимущества.** Наиболее распространенные примеры ремонта:

- ремонт трещин в стенах из кирпича, блоков из ячеистых бетонов, природных камней и бетона;
- усиление мест сопряжения стен, подоконных и надоконных частей, арочных перемычек и т.д.;
- усиление участков с трещинами в местах сопряжения разнородных материалов (кирпича, бетона, природного камня, древесины);
- выполнение подвижных соединений в местах сопряжения конструкций;
- усиление стен строящихся объектов по технологии «YTONG» (дополнительное армирование);
- анкерование расслоившихся стен, ремонт и усиление сводов и арок, стабилизация выпучивания стен.

Главные преимущества технологии Sure Twist: - высокое качество и надежность материалов; - минимальное механическое вмешательство в структуру ремонтируемых конструкций, быстрый и легкий монтаж; - минимальные неудобства для людей, которые проживают или работают в ремонтируемых объектах; - использование для выполнения работ простых инструментов.

**Материалы.** Технология Sure Twist основана на установке в поврежденных конструкциях дополнительных связей из спиралевидных стальных стержней и анкеров Sure Twist на специальном клеевом растворе Sure Grout.

Спиралевидные стержни и анкера Sure Twist выполнены из аустенитичной нержавеющей стали. Для ремонта и усиления конструкций чаще всего используются связи диаметром 6, 8 и 10мм. При усилении стен строящихся объектов по технологии «YTONG» - диаметром 3 и 4,5 мм. Стандартная длина стержней – 10 м. их можно укладывать внахлест, изгибать и соединять между собой при помощи вязальной проволоки. Sure Twist производится в соответствии с требованиями ISO 9002:1994.

**Таблица 15.5. Технические характеристики стержней Sure Twist**

Название	Диаметр, мм	Шаг витка	Вес, кг/мм	Вес кг/10м
Twist	6	25	0,000067	0,669
Twist	8	30	0,000079	0,786
Twist	10	50	0,000111	1,114
Twist Plus	6	30	0,000069	0,691
Twist Plus	8	40	0,000073	0,732
Twist Plus	10	50	0,000102	1,020
Twist Extra	6	30	0,000064	0,636
Twist Extra	8	40	0,000077	0,765
Twist Extra	10	50	0,000108	1,085

**Таблица 15.6. Физико-механические характеристики стали**

Диаметр, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Предел прочности на растяжение Н/мм <sup>2</sup> , кН	Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup> $f_{yks}$	Растяжение, % на 100 мм	Модуль деформации, МПа $E_{ss}$
6	8	900 , 7.2	745	4,0	156,269
8	10	880 , 8.8	745	4,5	148,813
10	13	823 , 10.7	640	4,2	146,114

**Таблица 15.7. Площадь поперечного сечения стержней**

Диаметр, мм	Площадь сечения, мм <sup>2</sup> /количество стержней				
	1	2	3	4	5
6	8	16	24	32	40
8	10	20	30	40	50
10	13	26	39	52	65

**Таблица 15.8. Характеристика стержней**

Обозначение	Диаметр	Прочность растяжения $f_{yds}$
Тип 304 Cu i 316L Нержавеющая сталь BS 6744	Все диаметры	460 МПа

**Sure Grout** – это безусадочные, эластичные, быстротвердеющие клеевые растворы на основе цемента. Данные растворы обладают высокой адгезией к различным материалам. Клеевые растворы специально разработаны для обеспечения совместной работы со спиралевидными стержнями Sure Twist. Sure Grout производится в соответствии с требованиями ISO 9002:1994. Клеевой раствор Sure Grout является двухкомпонентным составом (порошок и жидкость), после смешивания, которых получается пригодный к использованию (максимум в течение 40 минут) клеевой раствор. Для приготовления раствора необходимо использовать только ингредиенты, поставляемые производителем (запрещено добавлять воду, цемент, песок, пластификаторы и др.).

**Таблица 15.9. Работа стержней Sure Twist на выдергивание из тяжелого, ячеистого бетона кирпичной кладки и древесины**

Диаметр	Длина окружности отверстия	Длина анкеровки	Вырывающая сила	Площадь заделки	$R_t$
мм	мм	мм	кН	мм <sup>2</sup>	Н/мм <sup>2</sup>
<b>Бетон С12/15 (образцы 150x150 мм) – вырыв анкеров (раствор Sure Grout HS)</b>					
8	25,13	150	3,820	3769,5	1,010
10	31,42	150	3,833	4713,0	0,813
<b>Ячеистый бетон (образцы 150x150 мм)–вырыв анкеров (раствор Sure Grout S)</b>					
8	25,13	150	2,610	3769,5	0,693
10	31,42	150	2,470	4713,0	0,530
<b>Кирпич (три ряда) – вырыв анкеров (раствор Sure Grout S)</b>					
8	25,13	210	5,680	3769,5	1,080
10	31,42	210	3,330	4713,0	0,510
<b>Вырыв – Sure Twist Plus/Extra из древесины (сосна) поперек волокон</b>					
6	-	150	2,700	2827,2	0,955
8	-	150	2,940	3769,5	0,781
10	-	150	3,230	4713,0	0,685
<b>Вырыв – Sure Twist Plus/Extra из древесины (сосна) вдоль волокон</b>					
6	-	150	2,430	2827,2	0,858
8	-	150	2,230	3769,5	0,7591
10	-	150	2,640	4713,0	0,560

В зависимости от назначения ремонта используются клеевые растворы: **Sure Grout S** (прочность на сжатие 27 МПа) – предназначен для ремонта стен из блоков из ячеистых бетонов и кирпича прочностью на сжатие до 10 МПа; **Sure Grout HS 38 и 60** (прочностью на сжатие 38 МПа и 60 МПа) – предназначены для ремонта стен из кирпича прочностью на сжатие более 10 МПа, природного камня и бетонных конструкций; **Sure Grout RS** (прочность на сжатие 33 МПа) – предназначен для ремонта конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде.

Плотность свежего клеевого раствора через 1 день твердения ( $\text{кг/м}^3$ ) – 1800+/- 5%, после 28 дней ( $\text{кг/м}^3$ ) – 1610+/- 5%, время выработки приготовленного раствора – максимум 40 минут. Адгезия с бетонной поверхностью – минимум 0,8 МПа, с кирпичной поверхностью – минимум 0,5 МПа. Впитываемость воды – максимум 5%

Минимальное значение осевых сил на вырыв анкеров из основания: - для стержней  $\varnothing 6$  мм – 1,00 кН; для стержней  $\varnothing 8$  мм – 1,25 кН; для стержней  $\varnothing 10$  мм – 1,5 кН.

Нормы расхода клеевого раствора Sure Grout: - для 1 стержня в штробе – 1 упаковка (11 кг нетто) на 16 м. п. штробы (укладка 16 м. п. стержней Sure Twist); - для 2 стержней в штробе – 1 упаковка (11 кг нетто) на 12 м. п. штробы (укладка 24 м. п. стержней Sure Twist); - для 3 стержней в штробе – 1 упаковка (11 кг нетто) на 8 м. п. штробы (укладка 24 м. п. стержней Sure Twist); - для анкеров в отверстии  $\varnothing 14 - 16$  мм – 1 упаковка (11 кг нетто) на 20 м. п. отверстий (укладка 20 м. п. анкеров Sure Twist).

*При укладке стержней Sure Twist в кладку из пустотелых материалов или кладку с пустотами расход клеевого раствора увеличивается.*

### **Конструктивные требования.**

Процесс разработки проекта ремонта или усиления поврежденных зданий по технологии Sure Twist должен начинаться с анализа характера повреждений и причин их возникновения. По результатам проведенного анализа необходимо принять решение, каким способом выполнять ремонт или усиление, и определить, в каких местах необходимо установить спиралевидные связи или анкера. Технология Sure Twist не устраняет причин возникновения дефектов и повреждений, а предназначена для выполнения ремонта и усиления строительных конструкций. Необходимо принять решение о том, что выполнение ремонта или усиления по технологии Sure Twist будет достаточно и нет необходимости выполнять усиление фундаментов.

При разработке проекта необходимо соблюдать требования Sure CPS Grout (разработанные по результатам испытаний и опыта (более 20 лет) использования технологии Sure Twist в странах западной Европы, Чехии, Словакии, Венгрии и Польши) укладки спиралевидных стержней и установки анкеров:

- шаг уложенных в пропилены спиралевидных стержней – 150-600 мм; - минимальная длина спиралевидных стержней, уложенных в пропилены, с каждой стороны от трещины – 500 мм;

- ширина пропила (штробы): для  $\varnothing 6$  мм  $\Delta = 10$  мм; для  $\varnothing 8$  мм  $\Delta = 12$  мм; для  $\varnothing 10$  мм

$\Delta = 14$  мм.

- глубина пропила (штробы): для 1 стержня  $l_{min} = 35$  мм; для 2 стержней  $l_{min} = 45$  мм; для 3 стержней  $l_{min} = 65$  мм.

*В зависимости от состояния ремонтируемых конструкции допускается выполнение пропилов большей глубины, например для 2 стержней – 65 мм. Для бетонных конструкций минимально допустимая глубина пропила для 1 стержня – 15 мм.*

- диаметр отверстия для анкеров: для анкеров  $\varnothing 3 - 6$  мм – 12 мм; для анкеров  $\varnothing 8$  мм – 14 мм; для анкеров  $\varnothing 10$  мм – 16 мм.

*При разработке проектов с использованием анкеров заданной длины, необходимо учитывать техническую возможность их установки. Практика показывает,*

что установка анкеров длиной до 1 м не вызывает больших трудностей, для установки анкеров длиной более 1 м необходим специальный инструмент.

#### **Технология выполнения работ.**

1. Выпилить штробы, длиной, шириной и глубиной в соответствии с проектом (независимо от материала стены, штробы могут выполняться как в швах кладки, так и в самом кладочном материале, если иное не оговорено в проекте).

2. Очистить штробы от оставшихся продуктов выпиливания, а затем при помощи сжатого воздуха и воды от пыли и грязи.

3. В увлажненные штробы при помощи инъекционного пистолета уложить первый слой приготовленного клеевого раствора Sure Grout толщиной около 10 мм.

4. Утопить в клеевой раствор спиралевидные стержни Sure Twist и нанести второй слой приготовленного клеевого раствора Sure Grout толщиной около 10 мм (при необходимости спиралевидные стержни Sure Twist в штробе можно зафиксировать при помощи стальных пластинок для фиксации – Sure Clip).

5. После затвердевания клеевого раствора Sure Grout (примерно 20-40 минут) заполнить оставшееся место в штробе кладочным раствором или иным соответствующим составом, при необходимости, с подобранным цветом.

В случае укладки нескольких спиралевидных стержней Sure Twist в штробе, после укладки каждого стержня Sure Twist необходимо укладывать слой клеевого раствора Sure Grout толщиной около 10 мм.

#### **Монтаж спиралевидных стержней Sure Twist в высверленные отверстия.**

1. Высверлить в местах указанных в проекте отверстия заданного диаметра и глубины.

2. Очистить просверленные отверстия при помощи сжатого воздуха и воды под давлением.

3. Заполнить клеевым раствором просверленные отверстия (с использованием насадки нужной длины на инъекционный пистолет), затем вернуть винтовую связь в отверстие заполненное раствором.

4. После установки анкеров удалить лишней клеевой раствор.

В случае фиксации выпученных участков стен или соединением между собой деревянных элементов с ячеистым бетоном, кирпичом или бетоном, анкера можно устанавливать без использования клеевого раствора в предварительно просверленные отверстия диаметром на 2-4 мм меньше устанавливаемого анкера. Установку анкеров можно выполнять при помощи молотка или перфоратора. Допустимая длина анкеров при такой установке – не более 300 мм.

Все работы, выполняемые по технологии Sure CPS Grout с использованием клеевых составов Sure Grout должны выполняться при температуре окружающего воздуха не ниже 5°C.

На рисунке 15.6 приведены примеры расстановки анкерных стержней.

#### **Расчет усиления**

При расчете исходят из положения, что деформируемая (разрываемая) часть кладки должна быть закреплена на целом участке стены. Сечение анкера подбирается из учета работы усиливаемой части кладки на срез по неперевязанному сечению. Проверяем условие

$$N_{Rd} \geq N_{Sd} = 0.2 \cdot R_{Sq} \cdot l \cdot b, \quad (15.18)$$

где  $l$  – длина стены, мм

$b$  – толщина стены, мм

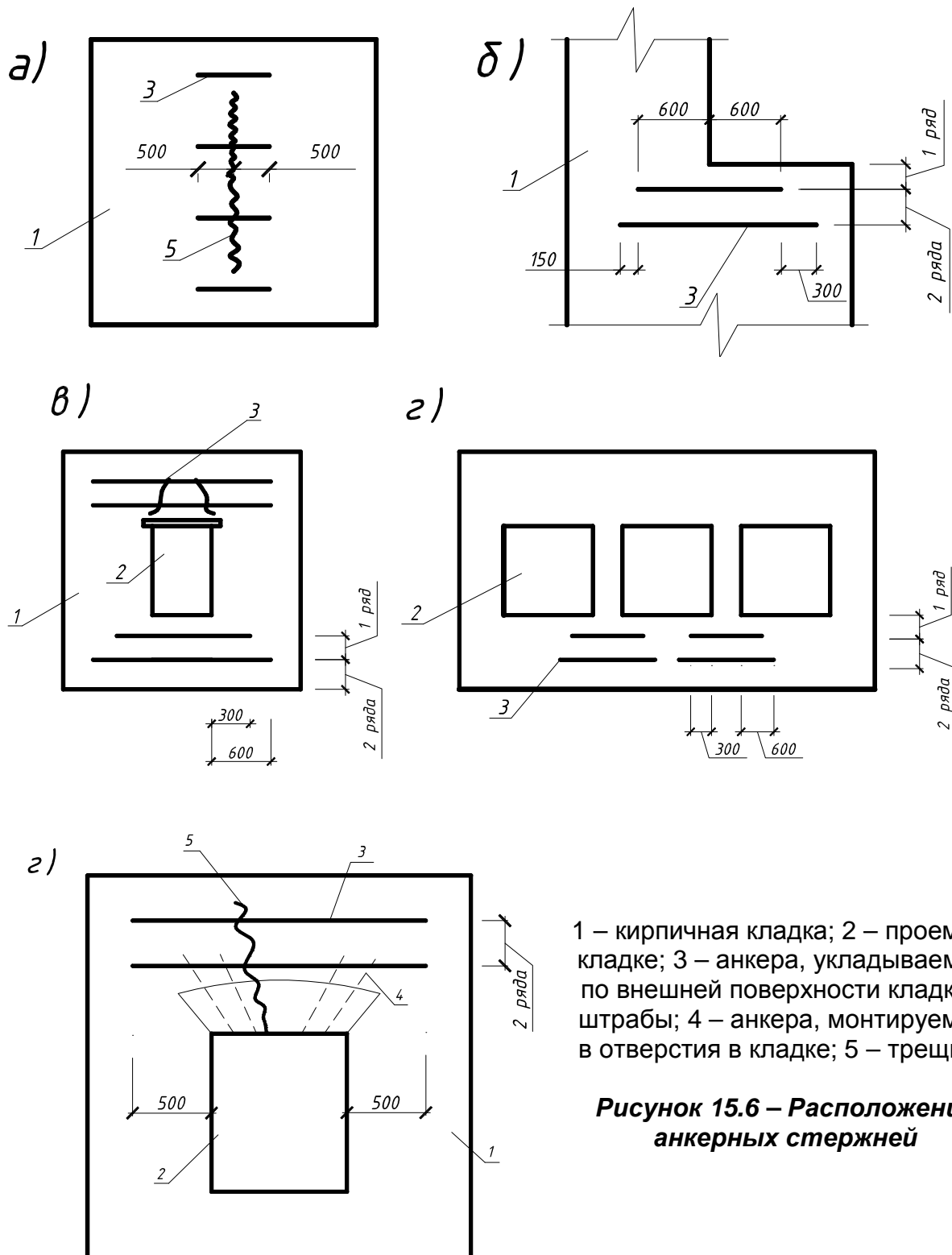
$R_{Sq}$  – расчетное сопротивление кладки скалывания по неперевязанному сечению, МПа (табл. 10 [11]).

Сечение анкера определяют из условия:

$$A_{ss} = \frac{N_{Rd}}{f_{sd}}, \quad (15.19)$$

где,  $A_{ss}$  – площадь сечения анкера,  $\text{мм}^2$   
 $f_{sd}$  – расчетное сопротивление анкера, МПа

Усилие  $N_{sd}$  может быть получено и прямым расчетом, но окончательно принимается большее значение.



**Рисунок 15.6 – Расположение анкерных стержней**

#### Пример расчета № 4

В кирпичной стене толщиной 380 мм двухэтажного дома над оконным проемом второго этажа появились трещины раскрытием 0,25 мм (см. рис. 15.6). длина кирпичной стены 12.0 м. кладка выполнена из керамического кирпича М100 на цементно-песчаном растворе М10. Причиной появления трещин явилось выполнение работ по забивке ж/б свай на прилегающем участке. Необходимо выполнить усиление кладки с целью стабилизации деформаций и недопущения дальнейшего раскрытия трещин. Схема расположения анкерующих стержней Sure Twist приведена на рис. 15.6. Приняты анкерные стержни из антикоррозионной винтовой стали Sure Twist, которые крепятся в выпиленных штробах на специальном двухкомпонентном растворе Sure Grout.

Определяем усилие эквивалентное разрыву сдвигу кладки по неперевязанному шву.

$$N_{sd} \leq 0.2 \cdot R_{sq} \cdot l \cdot b = 0.2 \cdot 0.05 \cdot 380 \cdot 2500 = 9500 \text{ Н} = 9,5 \text{ кН}$$

Площадь поперечного сечения анкера

$$A_{ss} = \frac{N_{sd}}{f_{sd}} = \frac{9500}{460} = 20.65 \text{ мм}^2$$

$f_{sd}$  – расчетное сопротивление стали анкера

Принимаем в каждом сечении по два анкерных стержня Sure Twist диаметром 10 мм (по одному с наружной и внутренней поверхности) с  $A_{ss} = 2 \cdot 13 = 26.0 \text{ мм}^2$

Установку анкерных стержней производить по технологической карте ТК 290295955.001 – 2012.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Назовите достоинства и недостатки использования композитных материалов при усилении.
2. Какие требования предъявляются к поверхности каменной кладки при использовании СВА?
3. Перечислите и обоснуйте проводимые технологические операции при усилении композитными материалами.
4. Обоснуйте варианты использования материалов с углеродными волокнами для центрально и внецентренно сжатых элементов.
5. В каких случаях применим метод усиления с заменой существующего раствора на полимерцементный? Объясните механизм работы такого усиления.
6. Обоснуйте область применения анкерующих стержней Sure Twist.
7. Приведите примеры усиления кирпичной кладки стержнями Sure Twist.
8. Какие конструктивные требования следует выполнить при усилении кирпичной стержнями Sure Twist?
9. Как обеспечить коррозионную стойкость стержней Sure Twist?
10. Оцените рассмотренные методики усиления при воздействии температуры.

## **ТЕМА №16. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.**

### **Перечень рассматриваемых вопросов:**

16.1 Восстановление железобетонных конструкций (см. с. 4-26 [47])

16.2 Восстановление каменных конструкций (см. с. 45-57 [26])

### **16.1 Восстановление железобетонных конструкций**

На рынке республики присутствуют как отечественные ремонтные составы, так и зарубежные. Кратко остановимся на отдельных, учитывая, что условия применения (температура, влажность, подготовка поверхности, вид повреждения и т.д.) уточняются в паспорте на конкретный материал и технологической карте на производство работ. Общим требованием для всех ремонтных составов является обязательная сертификация в Республике Беларусь.

В Республике Беларусь разработан целый спектр полимерминеральных составов (модифицированных сухих смесей) «Полимикс» для ремонта и восстановления СК. Составы объединены в т.н. «ремонтную систему» обеспечены нормативным сопровождением (СТБ1072-97). Составы представляют собой смесь минеральных вяжущих, минеральных наполнителей, модифицирующих добавок и полимерного связующего в виде порошка. На производство ремонтно-восстановительных работ (сколы, трещины, коррозия арматуры с отслоением защитного слоя бетона) разработана технологическая карта ТК-13/05-2000.

В России (г. Подольск, ООО «Консолит») разработан и выпускается широкий спектр материалов для ремонтных работ «Быстротвердеющие сухие ремонтные смеси «Барс» (ТУ №5745-001-54793637-04), которые по своим технологическим характеристикам не уступают материалам «EMACO», но дешевле в 2..2,5 раза. Ремонтный состав «БАРС» представляет собой многокомпонентную сухую смесь состоящую из специального безусадочного цемента, фракционированного заполнителя, армирующих волокон и комплекса полимерных добавок (прочность на сжатие – 25МПа и растяжение – 5.0МПа уже через 3 часа, прочность сцепления 2.5-3.4МПа, водонепроницаемость не ниже W16).

Особое место в линейке ремонтных составов занимают смеси «Эмако», которые производятся в России компанией «Строительные системы» начиная с 2000 года (мировой опыт применения 38 лет). Ремонтные смеси сертифицированы на территории РБ, разработаны технологические карты (ТК-130/05/01-2004) на ремонт бетонных и железобетонных конструкций сухими смесями «Эмако» (тиксотропный тип) и ТК 130/05/02-2004 (наливной тип). Сухие смеси «Эмако» - это материалы на основе портландцемента с нормированным минералогическим составом. Применяют для конструктивного ремонта бетона, для заделки трещин, швов, протеканий, для антикоррозионной защиты арматуры, защиты бетона и гидроизоляции.

Весьма перспективной являются ремонтная система, объединяющая материалы марки «Парад» (все материалы сертифицированы на территории РБ). Разработана технологическая карта (ТК 05-2005) на ремонт, антикоррозионную защиту, гидроизоляцию и упрочнение бетонных и железобетонных конструкций.

Известны в мире ремонтные материалы немецкой фирмы SCHOMBURG (Шомбург), а именно составы марки ASOCRET для восстановления бетона и антикоррозионной защиты арматуры. Особенностью материалов является использование цементных составов модифицированными полимерами. Составы сертифицированы на территории РБ.

Широко известны ремонтные материалы фирмы Sika, которые уже длительное время применяются на практике и прошли испытание временем. Например – материалы для защиты арматуры от коррозии и восстановления защитного слоя бетона марки Sika Mono Top 601(602..620).



На примере материалов Sika покажем, какие особенности учитываются при выборе ремонтного состава.

**Материалы для ремонта бетона. Адгезионные составы и защита арматуры от коррозии:** высокая адгезия к бетонным и стальным поверхностям; высокая стойкость к проникновению воды и хлоридов; легкие в нанесении; высокая механическая прочность; может наноситься кистью и методом торкретирования.

Материалы Sika MonoTop-910N, Sika Repair-10F, Sika Top-Armatec 110 EpoCem, Sikadur-32 предназначены для защиты стальной арматуры от коррозии и формирования адгезионного слоя между старым и новым бетоном, арматурой и другими ремонтными составами.

**Материалы для железобетонных конструкций:** легкость в приготовлении и нанесении; низкая усадка, армированы фиброй; высокая сульфатостойкость; высокая морозостойкость; высокая механическая прочность; низкая степень отскока при торкретировании (Sika MonoTop, Sika Grunit 03); материалы тиксотропного и наливного типа; быстроотверждаемые (SikaFast Fix, Sikadur 12 Pronto); возможность ремонта при низких температурах (Sikadur 12 Pronto).

Материалы серии Sika MonoTop, Sika Repair, Sikadur бывают тиксотропного и наливного типа и подходят для ремонта горизонтальных, вертикальных и потолочных поверхностей. Наносятся материалы как ручным способом, так и методом мокрого торкретирования. Применяются как для внутренних так и для наружных работ.

**Материалы для выравнивания поверхности:** легкость в приготовлении и нанесении; выравнивающий и защитный слой; высокая стойкость к проникновению воды и хлоридов (Sika Repair); влагоизоляция для полимерных покрытий (Sikagard-720 EpoCem); высокая сульфатостойкость; могут наноситься методом торкретирования.

Материалы Sika MonoTop-620, Sika Repair-30F, являющиеся частью ремонтных систем серии Sika MonoTop, Sika Repair, а также материалов Icoment 540, Sikagard-720 EpoCem предназначены для выравнивания поверхности. Подходят для нанесения тонких слоев при ремонте бетонных конструкций. А также при заполнении пор и др. мелких дефектов. Также подходят для ремонта сколов и др. дефектов на углах и краях бетонных конструкций. Наносятся как ручным методом, так и торкретированием.

**Инъекционные составы для ремонта конструкций:** заполнение пустот в конструкциях (SikaRock-Fill110); склеивание трещин (Sika -52); низкая степень расслоения (SikaRock-Fill110); высокая механическая прочность (Sikadur-52); высокая текучесть.

В эту группу входит инъекционные составы на основе микроцементов (SikaRock-Fill110, Sika InjectoCem-190) и эпоксидных смол (Sika Injection-451, Sikadur-52), которые применяются для склеивания, заполнения пустот, а также восстановления сплошности и монолитности конструкций.

**Материалы для защиты бетона. Гидрофобизирующие пропитки:** снижают капиллярное водопоглощение; снижают процесс высолообразования; паропроницаемы; не изменяют внешний вид поверхности; высокая проникающая способность.

Предлагается спектр гидрофобных пропиток серии Sikagard для впитывающих минеральных оснований. Материалы проникают в поры основания, обеспечивая длительную водопроницаемость и одновременно не препятствуя диффузии водных паров в обоих направлениях.

**Защитные окрасочные покрытия:** высокая атмосферостойкость (Sikagard-680S, Sikagard 550W, Sikagard 675, Elastocolor); паропроницаемы; легкие в применении; стойкость к диффузии CO<sub>2</sub>; химическая и механическая стойкость (Sikagard Wallcoat); подходят для покрытия свежеложенного бетона (Sikagard-680S).

Для защиты внутренних и наружных поверхностей железобетона предполагается паропроницаемые цветные покрытия серии Sikagard, Sikafloor, которые подходят для защиты минеральных оснований, по бетону или фиброцементу, защищают бетон от воздействия агрессивных сред.

**Химически стойкие защитные покрытия:** высокая химстойкость; высокая износостойкость; высокая ударная стойкость; высокая адгезия к бетону и стали; возможность применения в контакте с питьевой водой (Sikagard 136DW); возможность нанесения при отрицательных температурах (Sikalastic-830N, Sikalastic-841 ST, Sikalastic-842BG); высокая трещиноперекрывающая способность (Sikalastic-830N, Sikalastic-841 ST, Sikalastic-842BG); быстрый набор прочности (Sikalastic-830N, Sikalastic-841 ST, Sikalastic-842BG); высокая стойкость к УФ (Sikalastic-830N, Sikalastic-841 ST, Sikalastic-842BG); высокая термостойкость (Sikalastic-830N, Sikalastic-841 ST, Sikalastic-842BG).

Имеются специальные антикоррозионные и гидроизоляционные защитные покрытия Sika roxitar, SikaCor, Sikagard, Sikalastic по железобетону и стали эксплуатирующиеся в условиях высоких химических и механических нагрузок.

**Подливочные составы:** легкость в приготовлении и применении; высокотекучие; высокая ранняя и конечная прочность; безусадочные; расширяющиеся; высокая морозостойкость; регулируемая консистенция; вибростойкость; быстроотверждаемые (Sikadur 12Pronto); возможность подливки при отрицательных температурах (Sikadur 12Pronto).

В эту группу материалов входят подливочные растворы на цементной и полимерной основе серии Sikagrout, Sikadur и Icosit КС для бетонных, каменных, стальных конструкций, для подливок несущих элементов, опор, фундаментов машин и механизмов, швов в конструкциях из сборного железобетона; для заливки анкеров, заполнения, каверн, полостей и выбоин в бетоне. Подливочный состав Sikadur 12Pronto на ПММА основе дает возможность вести работы по подливке при отрицательных температурах за небольшой отрезок времени.

## **16.2 Восстановление и защита конструкций из каменных материалов.**

В зданиях, построенных в первой половине XIX века и ранее, как правило, отсутствует или нарушена горизонтальная гидроизоляция. Это приводит к отсыреванию стен за счет капиллярного всасывания влаги, снижаются теплоизоляционные свойства стен и их долговечность вследствие разрушения при замораживании-оттаивании, солевой коррозии и биокоррозии.

Из строительной физики известно, что увеличение влажности наружных кирпичных стен всего на 3% увеличивает их теплопроводность на 50%. Температура на внутренней поверхности стен в помещениях с нормальными параметрами внутреннего воздуха – температурой +18°C и относительной влажности 55..60% - обычно составляет 14..16°C. Эта температура соответствует норме теплового комфорта и не вызывает появления конденсата (при нормальном функционировании естественной вентиляции, удаляющей избытки бытовой влаги).

Если стена переувлажнена, температура на ее поверхности падает до +9°C и на ней неминуемо выпадает конденсат бытовой влаги, поступающей из ванн и кухонь, а также испаряемой находящимися в помещении людьми. Выпавший конденсат впитывается стеной, ее теплопроводность становится еще больше и процесс повторяется.

В результате капиллярного подсоса влаги по швам кладки фундаментов и стен материал конструкции подвергается воздействию солевой коррозии, проявляющейся в виде выщелачивания или, наоборот, засолении этих материалов. При капиллярном всасывании грунтовых вод каменной конструкцией в ней образуются с течением времени кристаллогидраты. При присоединении безводными солями воды с образованием кристаллогидратов объем твердой фазы увеличивается и в стенках пор материалов возникает растягивающее напряжение, достигающее 0,21-0,44МПа. Кроме того, давление кристаллогидратов является постоянно действующей нагрузкой, что снижает долговечность материала. Так, прочность керамического кирпича, содержащего кристаллогидраты, снижается на 30-40%, а морозостойкость засоленного цементного бетона снижается в 2,5 раза.

Одним из методов защиты строительных конструкций от накопления солей вследствие капиллярного всасывания грунтовых вод является объемная гидрофобизация порового пространства строительного материала кремнийорганическими соединениями.

Среди коррозионных воздействий, разрушающих строительные материалы, значительное место занимает биокоррозия, ежегодный ущерб от которого в мире составляет десятки миллиардов долларов. Биокоррозия вызывается:

- бактериями, усваивающими азот и сернистый газы из атмосферы;
- плесневыми грибами;
- низшими водорослями, мхами и лишайниками.

Замечено, что, переселяясь на поверхность, грибки меняют pH таким образом, что создают оптимальную для его развития кислотность среды. Определенное влияние на разрушение кладки оказывают рост массы грибков и механическое давление на поверхность пор. Типичная картина разрушения – превращение штукатурного или кладочного раствора в сухую осыпающуюся массу.

Выделяют три основных группы методов защиты строительных материалов от биокоррозии:

- эксплуатационно-профилактические (дезинфекция поверхности, регулирование теплового режима, вентиляция);
- конструктивные (гидроизоляция, придание поверхностям конструкции формы, препятствующей накоплению влаги и пыли);
- строительно-технологические (использование материалов, стойких к биокоррозии).

Таким образом, каменные конструкции сооружений подвергаются различным видам коррозионных воздействий в течение всего периода их эксплуатации, что отрицательно сказывается как на гарантийном, так и на планируемом сроках службы. Остановимся на некоторых из них более подробно.

#### 1. Загрязнения.

- отделочные покрытия (краски) –ПХВ, алкидные, силикатные, масляные и т.д.;
- атмосферные – копоть, сажа, продукт неполного сгорания автомобильного топлива;
- технологические – высолы (чаще на участках замочания – у кровли, цокольная зона и т.д.); остатки кладочного и ремонтного раствора;
- эксплуатационные: мох водоросли, грибок (в зоне увлажнения и повреждения швов); пятна ржавчины у декоративных элементов из металла.

#### 2. Повреждения и дефекты кладки.

- сколы кирпича: мелкие –до 5..10мм, крупные от 10..50мм;
- отсутствие элементов кладки: разрушающиеся (отсутствующий) кирпич (углы, зоны увлажнения и развития грибка); поврежденный или разрушенный (выветренный) раствор швов;
- трещины: как в кирпиче, так и по швам, пересекающие ряды кладки (до 3 рядов, стабилизировавшиеся).

Всегда анализируют причины повреждений (прямые или косвенные) и принимают решение о восстановлении, которое осуществляется в 2 этапа: подготовка поверхности и нанесение ремонтного (защитного) материала.

#### Подготовка поверхности.

##### 1. Удаление старой краски.

Силикатные краски удаляют механическим способом (мокрая пескоструйка) или закрывают новым слоем. Химический раствор не применяют. Остальные виды красок удаляют нанесением вододисперсионных паст (толщина слоя 3-5мм, время выдержки 4-24 часа). Деструктурированный слой краски (даже в порах) удаляют водой под давлением. Например: состав Alkutex Abbeiser.

## 2. Удаление остатков цементных растворов.

Наносится водный раствор кислотного очистителя (валиком, кистью) с концентрацией не более 10%. Химическая реакция протекает сразу (шипение, пузырьки на поверхности загрязнения), поэтому остатки загрязнения сразу удаляют водой под давлением. Например: состав Alkutex AC Klinkerreiniger.

## 3. Атмосферные загрязнения.

Цель – создать условия для адгезии ремонтного состава с основанием. Используют химически активные пасты (толщина слоя 3..5 мм, время химической реакции 15..30мм, удаление остатков водой под давлением. Например: состав Alkutex Fasadereiniger\_Paste.

## 4. Устранение высолов.

Участок кладки с пятнами высолов обрабатывается гидрофобизирующей пропиткой на основе растворителя (например: Funcosil SNL). Через 5 дней (время образования в порах водонепроницаемого барьера из полисилоксана) поверхность обрабатывается водным раствором порошкового очистителя (например – Alkutex AC Klinkerreiniger). При этом нерастворимые соли (на глубине до барьера) переходят в растворимое состояние и вымываются. Барьер из полисилоксана не пропускает воду вглубь кирпича и предотвращает выход на поверхность новых солей.

## 5. Удаление грибковых образований, мхов, плесени, пятен ржавчины.

Грибковые продукты удаляют механическим способом с последующей обработкой (пропиткой) водным раствором концентрата Aclolit Mfluessing, а мох, плесень – saniрующим составом Alkutex BFA-Entferner. Пятна ржавчины удаляют нанесением пасты из слабокислотного очистителя Alkutex This (валиком, кистью, толщина слоя 3..5мм, время контакта 20..30 мин) и последующей промывки водой под давлением.

## 6. Ремонт дефектов и повреждений.

Восстановление швов (после удаления старого слабого материала на глубину не ,jktt 20 мм) выполняют раствором (безусадочный, на минеральной основе с нужным пигментом) Funcosil Fugenmoertel.

Заделка трещин менее 0.5 мм не производится. При необходимости (наличие шелушение поверхности и т.д.) производят шпатлевку поверхности тонким слоем реставрационного материала Funkosil Restauriermoertel.

Трещины с большим раскрытием и пустоты заполняют суспензией типа Aida Bohrlochsuspension.

Сколы кирпича ремонтируют по следующей схеме: очищают, грунтуют жидким раствором (дисперсией) ремонтного материала, наносят основной пластичный состав ремонтного состава (Funkosil Grundiermoertel) и наружный слой (реставрационный состав Funkosil Restauriermoertel) толщиной до 10..15мм. При необходимости из реставрационного состава с добавлением до 10% портландцемента М500 можно изготовить в форме кирпича для ремонта, что практикуется, из-за стоимости, только при реставрации.

Предотвращение повторного дефекта связанного с увлажнением поверхности кладки достигается созданием водоотталкивающего эффекта. Например: нанесением силоксанового раствора (Funcosil SNL genuchneutral) – операция выполняется дважды, получаемый эффект – не только исключение смачивания, но и вторичная защита от всех видов поверхностного разрушения. Не менее эффективным методом является и обработка поверхности гидрофобизатором( эмульсия кремнеобразной консистенции Funcosil Fasadencreme) которая наносится валиком за один раз. Этот же материал используют и для устранения высолов.

Эстетический вид (сильное отличие в цветовой гамме) поверхности кладки может быть достигнут при использовании:

– силиконовой краски Funcosil Siliconfarde LA (достигается лучший эффект лес-сирующей эффект, так как состав полупрозрачен при добавлении гидрофобизатора. Например – Funcosil La: Funcosil WS – 1:1);

– лессирующая краска Funcosil Historic Lasur (большая степень матовости) самостоятельная или с гидрофобизатором Funcosil WS).

Приведенные выше материалы фирмы Remmers прошли длительные испытания на практике, но и они не единственные на рынке.

Отдельно следует остановиться на т.н. saniрующих штукатурках, которые используют при отсутствии напорных вод; нарушена горизонтальная или вертикальная гидроизоляция. После устранения причин увлажнения выполняют работу по локализации последствий, т.е. устройство saniрующей штукатурки. Отличие от обычной штукатурки заключается в механизме работ. Для традиционных видов штукатурных покрытий характерно положение зоны испарения, а она располагается в поверхностном слое, что в итоге приводит к вздутию и отслоению штукатурки и слоев отделки. Предлагаемый вариант покрытия имеет критическую зону испарения на границе «кладка-штукатурка», а кристаллизация солей происходит в пористом слое покрытия не влияя на долговечность отделки. При проектировании необходимо обеспечить коэффициент диффузионного сопротивления водяного пара не более 1,2 для покрытия по saniрующей штукатурке. Например: состав Ralasil SP 2 базирующийся на известковой или цементной базе без химических добавок. Система saniрующих штукатурок Caratect-Sanierputz.

Наиболее часто увлажнение и разрушение кладки происходит в цокольной части здания. В качестве примера возьмем материалы фирмы Remmers.

*Горизонтальная изоляция.* Для устройства горизонтальной изоляции высверливаются отверстия на расстоянии 10-12 см, в которые вставляются пакеры, через которые выполняется инъекция состава Remmers Kiesol во внутреннюю структуру кладки. Имеющийся старый слой штукатурки должен быть полностью удален самое позднее после формирования горизонтальной изоляции. Подготовка основания выполняется составом Remmers Kiesol, а затем состав Remmers Dichtspachtel, который наносится на еще свежий адгезионный слой.

*Выравнивание и изоляция основания.* Для гидроизоляции цокольной зоны необходимо не менее двух рабочих операций, с промежутком около 30 мин. Изоляция выполняется продуктом Sulfatexschlaemme. Такая операция обеспечивает долговременную защиту от попадания брызг и уменьшает протечку воды за штукатурным слоем цоколя. На последний слой шламовой массы можно методом «свежее на свежее» нанести набрызгом продукт Spezial-Vorspritzmoertel. В качестве альтернативного варианта на еще свежий слой шламовой массы, не нанося набрызга, можно нанести saniрующую штукатурку Remmers Sanierputz WTA. Если был нанесен слой продукта набрызгом, то после схватывания в течение от 24 до 48ч. наносится saniрующая штукатурка Remmers Sanierputz.

*Штукатурная отделка и окраска.* Заключительно покрытие выполняется продуктом Remmers Feinputz и краской на основе силиконовой смолы siliconharzfarbe LA, которая характеризуется способностью к диффузии и водоотталкивающими качествами.

*Пропитка кладки под давлением.* Защита фасадов от самого фундамента. В зависимости от степени промокания кладки Remmers Kiesol вводится в отсыревшую стену безнапорным способом или при низком давлении через ряд просверленных отверстий. Материал, используемый для инъекции, действует при этом в качестве пропитки, т.е. он пропитывает капиллярную систему строительного материала таким образом, что в поперечном срезе получается область сплошной пропитки. В этой области активные компоненты откладываются в капиллярных порах строительного материала и запускают два механизма. Во-первых, сужаются поры, во-вторых, они приобретают гидрофобные качества, формируя гидроизоляционный слой, способный задерживать транспортировку влаги.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Как определить необходимость восстановления или усиления железобетонных конструкций?
2. Какие отклонения устраняют при восстановлении железобетонных конструкций?
3. Какие ремонтные составы имеются на рынке для восстановления железобетонных конструкций?
4. Изложите порядок выполнения работ при восстановлении железобетонной конструкции.
5. Как определяют необходимость восстановления каменных конструкций?
6. Назовите причины изменяющие технической состояние кирпичной кладки.
7. В каком порядке производится работы по восстановлению кирпичной кладки.
8. Какие ремонтные составы для восстановления каменной кладки вы можете найти сегодня на рынке?
9. Как выполняют ремонт цокольной части здания?
10. Дайте характеристику и область применения saniрующих штукатурок.
11. Есть ли ограничения применения импортных материалов на территории РБ?
12. Назовите особенности выбора ремонтного состава для применения на объектах входящих в реестр Министерства культуры РБ.

## **МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **1. Методические основы организации**

Особенностью изучаемой дисциплины являются с одной стороны огромный объем непрерывно изменяющейся информации, а с другой – весьма небольшой объем предусмотренных учебным планом часов. Задача состоит в создании условий для перехода от модели пассивного информационного (аудиторного) образования к модели активного изучения материала, сочетающего аудиторную (первичную и направляющую) и самостоятельную (в большей степени) работу, в которой должен присутствовать анализ, поиск решений в реальной ситуации с учетом особенностей развития экономики Республики Беларусь.

Получить искомый результат можно объединив два направления: вызвать заинтересованность обучаемого, показав практическую востребованность дисциплины в дальнейшей его работе; предусмотреть формы контроля знаний (научная работа, реферат, контрольные вопросы и т.д.), требующие непрерывной работы, инициативы и активизации мыслительной деятельности студента. В тоже время нельзя допустить заорганизованность действий, утратить творческое начало. Виды и способы достижения цели в каждой конкретной ситуации преподаватель должен решать сам.

Все вопросы, используемые для контроля знаний, доводятся до студента сразу, а не по окончании учебного курса. Они разбиты на блоки, моделирующие механизм подготовки и изложения материала на экзамене (зачете), а именно:

- блок №1 – изложение ответа на поставленный вопрос;
- блок №2 – активное конструирование ответа;
- блок №3 – поиск решений в реальной ситуации;
- блок №4 – инициативная деятельность с перспективой.

В разделе 2 дан перечень вопросов, из которых формируется задание для контроля знаний студента. Вопросы позволяют студенту понять суть и направленность организации контроля знаний, поставить акценты при изучении материала (не запоминание, а понимание и применение на практике), использовать дополнительные источники для получения самостоятельно более полной информации (библиотека, пресса, интернет и т.д.), планировать деятельность по подготовке к рубежному контролю знаний в течении всего семестра. При этом на наш взгляд будет формироваться и активная жизненная позиция студента, т.к. соединение (приложение) с действительностью изучаемых вопросов непременно должно помогать вникать в практические, экономические и политические аспекты жизни Республики Беларусь.

## Вопросы итогового контроля

### Блок вопросов №1

- 1.1 Основные положения по расчету усиления конструкций.
- 1.2 Определение фактических характеристик бетона и арматуры.
- 1.3 Определение фактических характеристик кирпича и раствора.
- 1.4 Определение фактических характеристик металла.
- 1.5 Определение фактических характеристик древесины.
- 1.6 Расчет усиления нормального сечения изгибаемого элемента приваркой дополнительной арматуры в растянутой зоне.
- 1.7 Расчет усиления нормального сечения изгибаемого элемента приклеиванием дополнительной арматуры в растянутой зоне.
- 1.8 Расчет усиления нормального сечения изгибаемого элемента наращиванием сечения при отсутствии сцепления между существующим и старым бетоном.
- 1.9 Расчет усиления нормального сечения изгибаемого элемента наращиванием сечения при наличии сцепления между существующим и старым бетоном.
- 1.10 Расчет усиления наклонного сечения изгибаемого элемента при установке дополнительной арматуры.
- 1.11 Расчет усиления наклонного сечения изгибаемого элемента при устройстве рубашки или обоймы.
- 1.12 Расчет усиления сжатых элементов из железобетона обоймой из железобетона.
- 1.13 Расчет усиления сжатых элементов из железобетона обоймой из металла.
- 1.14 Расчет усиления сжатых элементов из металла.
- 1.15 Расчет усиления сжатых элементов из кирпича обоймой из железобетона.
- 1.16 Расчет усиления сжатых элементов из кирпича обоймой из металла.
- 1.17 Расчет усиления сжатых элементов из древесины.
- 1.18 Расчет усиления изгибаемых элементов из металла.
- 1.19 Расчет усиления изгибаемых элементов из древесины.
- 1.20 Основы расчета усиления изгибаемого элемента шпренгельной затяжкой.
- 1.21 Расчет перемычки при устройстве нового проема в кирпичной стене.
- 1.22 Расчет усиления при восстановлении пространственной жесткости здания
- 1.23 Расчет усиления изгибаемых элементов из железобетона композитными материалами.
- 1.24 Расчет усиления элементов из кирпича композитными материалами.
- 1.25 Расчет усиления элементов из кирпича по технологии Sure Twist.

### Блок вопросов №2

- 2.1 Конструктивные решения и технология усиления ленточных фундаментов.
- 2.2 Конструктивные решения и технология усиления отдельно стоящих фундаментов.
- 2.3 Конструктивные решения и технология усиления колонн железобетонной обоймой.
- 2.4 Конструктивные решения и технология усиления колонн металлической обоймой.
- 2.5 Конструктивные решения и технология усиления колонн из металла.
- 2.6 Конструктивные решения и технология усиления сопряжения колонны с фундаментом.
- 2.7 Конструктивные решения и технология усиления консоли железобетонных колонн.
- 2.8 Конструктивные решения и технология усиления железобетонных ребристых плит покрытия.
- 2.9 Конструктивные решения и технология усиления железобетонных многоступенчатых панелей перекрытия.
- 2.10 Конструктивные решения и технология усиления железобетонных стропильных балок.



- 2.11 Конструктивные решения и технология усиления железобетонных стропильных ферм.
  - 2.12 Конструктивные решения и технология усиления подкрановых балок.
  - 2.13 Конструктивные решения и технология усиления ригелей многоэтажных зданий.
  - 2.14 Конструктивные решения и технология усиления стропильных ферм из металла.
  - 2.15 Конструктивные решения и технология усиления плиты монолитного перекрытия.
  - 2.16 Конструктивные решения и технология усиления балок монолитного перекрытия.
  - 2.17 Конструктивные решения и технология усиления перемычек и прогонов над проемами.
  - 2.18 Конструктивные решения и технология усиления подкрановых балок.
  - 2.19 Конструктивные решения и технология усиления подпорных стенок.
  - 2.20 Конструктивные решения и технология усиления резервуаров.
  - 2.21 Конструктивные решения и технология усиления водонапорных башен.
  - 2.22 Конструктивные решения и технология усиления кирпичных стен.
  - 2.23 Конструктивные решения и технология усиления кирпичных простенков.
  - 2.24 Конструктивные решения и технология усиления кирпичных столбов.
  - 2.25. Конструктивные решения и технология усиления деревянных стропил.
- Блок вопросов №3
- 3.1 Причины вызывающие необходимость восстановления и усиления ЖБК.
  - 3.2 Причины вызывающие необходимость восстановления и усиления конструкций из металла.
  - 3.3 Причины вызывающие необходимость восстановления и усиления каменных конструкций.
  - 3.4 Причины вызывающие необходимость восстановления и усиления конструкций из древесины.
  - 3.5 Подготовка поверхности СК из железобетона при восстановлении (ремонте).
  - 3.6 Подготовка поверхности СК из металла при восстановлении (ремонте).
  - 3.7 Подготовка поверхности СК из кирпича при восстановлении (ремонте).
  - 3.8 Подготовка поверхности СК из древесины при восстановлении (ремонте).
  - 3.9 Обоснование выбора метода и вида материалов при восстановлении конструкции из железобетона.
  - 3.10 Обоснование выбора метода и вида материалов при восстановлении конструкции из металла.
  - 3.11 Обоснование выбора метода и вида материалов при восстановлении конструкции из кирпича.
  - 3.12 Обоснование выбора метода и вида материалов при восстановлении конструкции из древесины.
  - 3.13 Классификация методов усиления (с примерами) СК из железобетона.
  - 3.14 Классификация методов усиления (с примерами) СК из металла.
  - 3.15 Классификация методов усиления (с примерами) СК из камня.
  - 3.16 Классификация методов усиления (с примерами) СК из древесины.
  - 3.17 Обоснование выбора метода усиления СК из железобетона.
  - 3.18 Обоснование выбора метода усиления СК из металла.
  - 3.19 Обоснование выбора метода усиления конструкций из кирпича.
  - 3.20 Обоснование выбора метода усиления конструкций из древесины.
  - 3.21 Правила эксплуатации усиленных конструкций из железобетона.
  - 3.22. Правила эксплуатации усиленных конструкций из металла.
  - 3.23 Правила эксплуатации усиленных конструкций из кирпича.
  - 3.24 Правила эксплуатации усиленных конструкций из древесины.

3.25 Техника безопасности при выполнении работ по восстановлению и усилению конструкций.

Блок вопросов №4

4.1 Определите перечень мероприятий исключающих необходимость работ по восстановлению конструкций из железобетона.

4.2 Определите перечень мероприятий исключающих необходимость работ по восстановлению конструкций из металла.

4.3 Определите перечень мероприятий исключающих необходимость работ по восстановлению конструкций из кирпича.

4.4 Определите перечень мероприятий исключающих необходимость работ по восстановлению конструкций из древесины.

4.5 Определите перечень мероприятий исключающих необходимость работ по усилению конструкций из железобетона.

4.6 Определите перечень мероприятий исключающих необходимость работ по усилению конструкций из металла.

4.7 Определите перечень мероприятий исключающих необходимость работ по усилению конструкций из кирпича.

4.8 Определите перечень мероприятий исключающих необходимость работ по усилению конструкций из древесины.

4.9 Перечислите факторы определяющие выбор способа усиления конструкций из железобетона.

4.10 Перечислите факторы определяющие выбор способа усиления конструкций из металла.

4.11 Перечислите факторы определяющие выбор способа усиления конструкций из кирпича.

4.12 Перечислите факторы определяющие выбор способа усиления конструкций из древесины.

4.13 Назовите современные материалы и методы усиления конструкций из железобетона.

4.14 Назовите современные материалы и методы усиления конструкций из металла.

4.15 Назовите современные материалы и методы усиления конструкций из кирпича.

4.16 Назовите современные материалы и методы усиления конструкций из древесины.

4.17 Сформулируйте перспективные направления увеличения долговечности конструкций из железобетона.

4.18 Сформулируйте перспективные направления увеличения долговечности конструкций из металла.

4.19 Сформулируйте перспективные направления увеличения долговечности конструкций из кирпича.

4.20 Сформулируйте перспективные направления увеличения долговечности конструкций из древесины.

4.21 Определите перспективные направления развития методов усиления конструкций из железобетона.

4.22 Определите перспективные направления развития методов усиления конструкций из металла.

4.23 Определите перспективные направления развития методов усиления конструкций из кирпича.

4.24 Определите перспективные направления развития методов усиления конструкций из древесины.

4.25 Сформулируйте Ваши предложения по повышению эффективности работы службы эксплуатации объектов.

**УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ**

*Кондратчик Александр Аркадьевич*

# **Железобетонные конструкции**

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальности 1-07 02 01  
«Промышленное и гражданское строительство»

## **Часть 6**

Усиление строительных конструкций  
зданий и сооружений

*Текст печатается в авторской редакции,  
пунктуации и орфографии*

Ответственный за выпуск: Кондратчик А.А.  
Редактор: Боровикова Е.А.  
Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

ISBN 978-985-493-465-5



9 789854 934655

Издательство БрГТУ.  
Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных  
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569 от 16.10.2017 г.  
Подписано в печать 03.09.2019 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага «Performer». Гарнитура «Arial».  
Усл. печ. л. 10,34. Уч. изд. л. 11,12. Заказ № 1089.  
Тираж 22 экз. Отпечатано на ризографе учреждения  
образования «Брестский государственный технический  
университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.