ОДМ 218.3.027-2013

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТКАНЕВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(Росавтодор)

МОСКВА 2013

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Российский дорожный научно-исследовательский институт «РОСДОРНИИ»»

2 ВНЕСЕН Управлением эксплуатации и сохранности автомобильных дорог Федерального дорожного агентства Министерства транспорта Российской Федерации

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства Министерства транспорта Российской Федерации от 01.04.2013 № 413-р

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

Настоящий отраслевой методический документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Росавтодора.

Содержание

1 Область применения..... 1
2 Нормативные ссылки..... 2
3 Термины и определения..... 4
4 Обозначения и сокращения 4
5 Применяемые материалы..... 6
6 Методика расчёта и подбора сечения композиционного материала..... 8
6.1 Усиление железобетонных балок пролётных строений эксплуатируемых мостовых сооружений..... 8
6.1.1 Общие положения..... 8
6.1.2 Расчёт сечений по первому предельному состоянию 9
6.1.3 Расчёт сечений по второму предельному состоянию 16
6.2 Усиление железобетонных плит пролётных строений 20
6.3 Усиление железобетонных элементов опор 21
7 Конструктивные и технологические требования..... 23
7.1 Подготовительные работы..... 23
7.2 Технология усиления..... 28
7.3 Рекомендации по безопасности работ 33
8 Контроль качества работ..... 37
8.1 Входной контроль 37
8.2 Операционный контроль 38
8.3 Приёмочный контроль 39
8.4 Рекомендации по мониторингу и научному сопровождению 40
Приложение А Требования к составу клеевой смеси..... 43
Приложение Б Примеры расчёта 45
Приложение В Перечень типовых проектов железобетонных балочных пролётных строений (к п.6.1.2 текста ОДМ) 49
Библиография 52

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Рекомендации по применению тканевых композиционных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений

1 Область применения

1.1 Настоящий отраслевой методический документ содержит рекомендации по ремонту и усилению эксплуатируемых железобетонных конструкций мостовых сооружений на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения с помощью тканевых композиционных материалов на основе высокопрочных углеродных волокон с целью увеличения или восстановления несущей способности конструкций. Ограничения по климатическим условиям приведены в разделе 7.2.

1.2 Положения настоящего методического документа предназначены для применения организациями, выполняющими работы по проектированию усиления конструкций и осуществляющими ремонтные работы эксплуатируемых мостовых сооружений.

1.3 Усиление композиционными материалами железобетонных конструкций пролётных строений и опор рекомендуется применять при несоответствии фактической несущей способности требованиям действующих нормативных документов. Фактическую грузоподъёмность пролётных строений и несущую способность отдельных элементов пролётных строений и опор определяют по ОДН 218.0.032-2003 [1] с учётом результатов обследования (испытания) конструкций. Для конструкций с дефектами и повреждениями учитывают влияние дефектов и повреждений на несущую способность и жёсткость конструкций.

Увеличение несущей способности элементов конструкций требуется

при необходимости пропуска сверхнормативной нагрузки (тяжеловесного транспортного средства) и компенсации утерянной несущей способности (например, из-за уменьшения сечения арматуры из-за коррозии, повреждения бетона, увеличения постоянной нагрузки на сооружение).

Рекомендуемый диапазон длин пролётных строений, при которых применение тканевых материалов наиболее рационально – пролёты в свету 15÷20 м для балок с каркасной арматурой и пролёты 18÷33 м для предварительно напряжённых балок.

1.4 Усиление с использованием композиционного материала на основе тканей из углеродных волокон позволяет восстановить работоспособное состояние конструкций и повысить долговечность сооружения или его конструктивных частей и элементов. Применение подобных материалов для усиления рекомендуется при снижении несущей способности балок или плит пролётных строений до 50 %, а элементов опор – до 30 %.

1.5 Помимо усиления (восстановления несущей способности) композиционные материалы на основе тканей рекомендуется использовать для устранения имеющихся повреждений железобетонных конструкций: механических повреждений, трещин в защитном слое бетона конструкций, а также с целью компенсации недостаточной толщины защитного слоя.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 8728-88 Пластификаторы. Технические условия

ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 9077-82 Кварц молотый пылевидный. Общие технические условия

ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия

ГОСТ 10587-93 Смолы эпоксидно-диановые неотверждённые. Технические условия

ГОСТ 17624-87 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. Взамен ГОСТ 17624-78, ГОСТ 24467-80

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

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

ГОСТ 25601-80 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах

ГОСТ 25706-83 Лупы. Типы, основные параметры. Общие технические требования

ГОСТ 28570-90 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкции

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.013-78 ССБТ. Строительство. Электробезопасность. Общие требования

ГОСТ 12.3.002-75* Процессы производственные. Общие требования

ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Очки защитные. Термины и определения

Свод правил «СП 35.13330.2011 "Мосты и трубы"». Актуализированная редакция. СНиП 2.05.03-84*. –М. 2011

3 Термины и определения

В настоящем ОДМ применены следующие термины с соответствующими определениями.

1 **мостовое сооружение**: Искусственное сооружение над различными

препятствиями для пропуска различных видов транспорта и пешеходов, а также водотоков, селей, скота, коммуникаций различного назначения. К этой группе сооружений относятся мосты, путепроводы, эстакады, виадуки, скотопрогоны, трубопроводы.

2 **работоспособное состояние конструкций пролётных строений и опор:** Состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять полностью или частично заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической или конструкторской (проектной) документации.

3 **композиционный материал:** Материал, состоящий из матрицы, армированной тканевыми материалами с высокопрочными волокнами (наполнитель матрицы). Наполнитель матрицы представлен в данном ОДМ трёх видов:

-ленты - ширина полос до 300 мм;

-холсты - ширина полос свыше 300 до 500 мм;

-ткани - ширина материала свыше 500 мм.

4 Обозначения и сокращения

В настоящем методическом документе приняты следующие обозначения и сокращения:

1 **ΔQ:** Недостающая поперечная сила (требуемое увеличение несущей способности по поперечной силе).

2 **ΔM:** Недостающий момент внутренней пары (требуемое увеличение несущей способности по изгибающему моменту).

3 **ΔJ:** Недостающий момент инерции сечения (необходим для увеличения жёсткости сечения).

4 **Q, M**: Расчётные значения поперечной силы и изгибающего момента в сечениях балки.

5 $\mathbf{R_k}$, $\mathbf{F_k}$**:** Расчётное сопротивление и площадь сечения ленты (холста), входящей в состав композиционного материала.

6 $\mathbf{R_{bk}}$**:** Расчётное сопротивление бетона растяжению.

7 **h, hp:** Высота балки и высота ребра балки.

8 **x:** Расстояние от верха балки до центра тяжести сжатой зоны бетона.

9 **ℓ_p:** Расчётная длина балки.

10 **h*:** Высота наклейки на балку охватывающего хомута.

11 **b, h**:** Толщина стенки и высота ребра балки.

12 **h_0:** Расстояние от центра сечения ленты, расположенной по низу каркасной балки, до верха балки.

13 **a**: То же, до низа балки ($a+h_0=h$)

14 **$h_{пл}$:** Толщина плиты.

15 **z_i:** Расстояние от точки пересечения возможной наклонной трещины до точки, расположенной на пересечении наклонной трещины с осью наклеенной ленты.

16 **α:** Угол наклона оси отогнутых стержней (пучков) к горизонтали;

17 **E_k, $E_б$:** Модули упругости углеродных волокон и бетона при растяжении (E_a – модуль упругости арматуры балок);

18 **в:** Толщина стенки балки;

19 **Δ:** Удлинение нижних волокон балки при её изгибе;

20 **y:** Прогиб балки при изгибе;

21 **k*:** Коэффициент неравномерности относительного удлинения нижней грани балки по длине;

22 **σ:** напряжения в ленте усиления;

23 **σ_{mt}:** главные растягивающие напряжения;

24 **ε_i:** относительное удлинение бетона по низу балок;

25 **R_{bt}:** расчётное сопротивление бетона осевому растяжению;

26 R_a^x, F_a^x: расчётное сопротивление арматурных хомутов и площадь их сечения;

27 $R_г$: радиус армирования сечения;

28 $\mathbf{m_k}$, $\mathbf{m_Q}$**:** коэффициенты условия работ;

29 $\mathbf{E_k}$**:** модуль упругости ленты усиления при растяжении;

30 $\mathbf{E_б}$**:** модуль упругости бетона на сжатие;

31 $\boldsymbol{\psi}$**:** Коэффициент раскрытия трещин;

32 **КМ:** Композиционный материал;

34 $\boldsymbol{\beta}$*****: Угол наклона торца балки при её изгибе.

5 Применяемые материалы

При усилении железобетонных конструкций рекомендуется использовать композиционные материалы, создаваемые непосредственно на ремонтируемом объекте из лент, холстов и тканей, втапливаемых в слои эпоксидного клея. Свойства тканевых материалов определяются типом применяемого волокна. Настоящие «Рекомендации» предусматривают использование тканевых материалов, в которых волокна расположены в одном или двух перпендикулярных направлениях (однонаправленные и двунаправленные холсты и ленты). Допускаемый диапазон разброса характеристик лент и холстов на углеродной основе, рекомендуемый ОДМ, приведён в таблице 1, а характеристик клеёв - в таблице 2 ([2], [3]).

Таблица 1 – Допускаемый диапазон разброса характеристик лент и холстов

Наименование показателей	Значения показателей	
	однонаправленных лент	двунаправленных лент и холстов
Цвет	Чёрный (наиболее распространённый)	
Вид плетения	Полотно	Саржа
Ширина, мм	200÷300	300÷500
Плотность холста, г/м^2	200÷400	300÷500
Толщина холста, мм	≥0,100	≥0,100
Прочность волокон на растяжение, МПа	> 3000	
Деформация при разрыве, %	≥1,0	
Модуль упругости (Е), МПа	> 200 000	

Расчётное сопротивление лент (холстов) растяжению определяют по результатам механических испытаний образцов по ГОСТ 25601 с

обеспеченностью 0,95 с учётом коэффициентов надёжности по назначению (0,95) и по материалу (1,2), а также коэффициента условия работ 0,8. Например, при прочности холста 3000 МПа расчётное сопротивление равно $R_k = \frac{3000 \cdot 0,8 \cdot 0,95}{1,2} = 1900$ МПа.

Таблица 2 – Характеристики эпоксидного клея, рекомендуемого для применения при наклейке тканевых материалов

Показатель	Значения
Прочность на растяжение, МПа	Не менее 40
Прочность при изгибе, МПа	25÷35
Модуль упругости при изгибе, ГПа	≥5
Прочность на сдвиг, МПа	≥10
Температура стеклования, ^{0}C	Не менее 60

Для приклеивания тканевых материалов могут использоваться отечественные клеевые составы на основе эпоксидных смол (ЭД-10 и др.) по ГОСТ 10587, имеющие сертификат качества и санитарный сертификат. В качестве пластификаторов рекомендуется использовать фуриловый спирт по ГОСТ 8728, а в качестве отвердителя – полиэтиленполиамин. В качестве наполнителей используют цемент марки не ниже М400 по ГОСТ 10178 или молотый песок по ГОСТ 9077.

Исходными данными для определения нормативных и расчетных значений силовых и деформационных характеристик композиционных материалов являются сертифицированные значения этих характеристик, представляемые производителями. Нормативные значения сопротивления растяжению и нормативные значения предельных деформаций клеёв и холстов представляются производителем по результатам испытаний (с обеспеченностью 0,95). Составы некоторых клеёв приведены в Приложении А.

6 Методика расчёта и подбора сечения композиционного

материала

6.1 Усиление железобетонных балок пролётных строений эксплуатируемых мостовых сооружений

6.1.1 Общие положения

Железобетонные конструкции могут быть усилены при работе на изгиб внешним армированием композиционными материалами, располагаемыми в растянутой зоне конструкции и имеющими направления фибры параллельно максимальным растягивающим усилиям (параллельно оси конструкции).

Прочность усиленной конструкции в составе эксплуатируемого пролётного строения (изменённая несущая способность балки или плиты) определяется по нормальным и наклонным сечениям в соответствии с требованиями свода правил СП 35.13330 (далее – «Свода правил»). Композиционный материал (далее КМ), расположенный на растянутой грани ребра балки, учитывают в совместной работе с балкой на изгиб при воздействии временной нагрузки, которая будет иметь место после наклейки КМ. При этом используется гипотеза плоских сечений для определения нейтральной оси сечения усиленной конструкции и растяжения по нижним волокнам.

До разработки проекта усиления проводится обследование конструкций с выявлением имеющихся повреждений и их влияния на несущую способность по нормальному и наклонному сечениям и на жёсткость балок. При этом учитывают фактическую прочность бетона в сжатой зоне и фактическую коррозию арматуры.

Исходные данные для расчётов

Расчётное сопротивление на растяжение композиционного материала (КМ) с учётом коэффициентов надёжности γ_f и условия работы m определяется по формуле (1):

$$R_k = \frac{R_f \cdot m}{\gamma_{f1}} \cdot \gamma_{f2} \quad , \qquad (1)$$

где R_f – нормативное значение прочности на растяжение, определяемое механическими испытаниями образцов ткани по ГОСТ 25.601-80 с обеспеченностью 0,95 (МПа);

m – коэффициент условия работы, принимаемый для композиционных тканевых материалов на основе углеродных волокон равным 0,8;

γ_{f1} – коэффициент надёжности по назначению, равный для автодорожных мостов 0,95.

γ_{f2} – коэффициент надёжности по материалу, принимаемый равным для холстов 1,2 при расчётах по предельному состоянию первой группы и равным 1,0 при расчётах по предельному состоянию второй группы.

Все расчёты должны быть выполнены в соответствии с требованиями Свода правил СП 35.13330 «Мосты и трубы» (Актуализированная редакция).

6.1.2 Расчёт сечений по первому предельному состоянию

6.1.2.1 Расчёты по прочности

а) Основанием для усиления конструкций являются результаты расчёта (перерасчёта) эксплуатируемой конструкции (в соответствии с требованиями Свода правил (далее – СП)) по прочности нормальных и наклонных к оси балки сечений. Расчётами устанавливают недостающее значение несущей способности, по которому определяют требуемое сечение (количество слоёв ткани) наклеиваемого композиционного материала, а именно:

- ΔM – недостающее значение изгибающего момента;
- ΔQ – недостающее значение поперечной силы.

б) При проверке по прочности сечений, нормальных к продольной оси изгибаемых железобетонных элементов (балок, плит), сечение композиционного материала, наклеенного на нижнюю поверхность балок (плит), определяют по недостающему моменту внутренней пары (недостающей несущей способности ΔМ). Момент, по которому подбирают сечение КМ, определяют в последовательности:

- определяют момент от расчётной временной нагрузки, приходящейся на балку (балки) пролётного строения при загружении в соответствии с требованиями СП;

- определяют положение нейтральной оси сечения балки и расстояние «x'» от верха балки, которую предполагается усилять, до центра тяжести сжатой зоны бетона;

- определяют фактическое внутреннее усилие в сечении (правая часть формулы 7.21 или 7.22 СП);

- определяют значение ΔМ, по которому подбирают систему усиления.

Величина ΔМ компенсируется усилием, возникающим в КМ (N_k) при изгибе балки, то-есть:

$$\Delta M \le N_k \cdot h_{вп} = N_k \cdot (h - x') \qquad (2)$$

где $h_{вп}$ – плечо внутренней пары для наклеенного КМ, равное расстоянию от КМ до центра тяжести сжатой зоны сечения;

h – высота балки;

x' – расстояние от верха балки до центра тяжести сжатой зоны.

в) Учитывая, что усилие N_k зависит от площади поперечного сечения ткани (то-есть от F_k) и напряжений, возникающих в волокнах ($\sigma_k = \varepsilon_k \cdot E_k$), формула (2) будет иметь вид, формула (3):

$$N_k \cdot h_{вп} = \sigma_k \cdot F_k \cdot h_{вп} = \sigma_k \cdot F_k \cdot (h - x') \qquad (3)$$

Расчёт нормальных сечений изгибаемых элементов по прочности предполагает рассмотрение предельного состояния, при котором все элементы в сечении достигли своего предела прочности за исключением материала усиления, предельные напряжения в котором (σ_k) не должны превышать 0,9 R_k. Указанное требование исключает возможность разрушения бетонного основания, на которое наносится материал усиления, и возможное отслоение материала усиления по контакту клей-бетон по причине того, что бетон не может воспринять деформацию в нём.

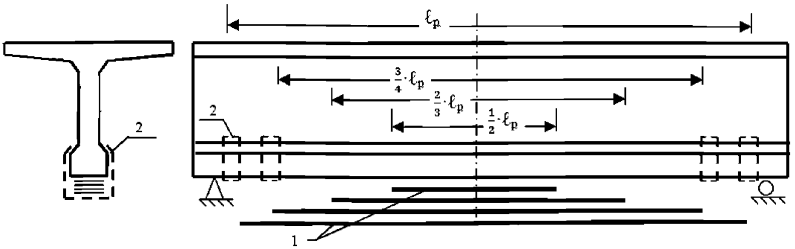
Требуемое сечение тканей в $\ell/2$ при расчёте на прочность по первому предельному состоянию будет определяться по формуле (4):

$$F_k = \frac{\Delta M}{\sigma_k \cdot (h - x')} = \frac{\Delta M}{0{,}9 \cdot R_k (h - x')}; \qquad (4)$$

Принимая во внимание, что относительное удлинение композиционного материала (удлинение ленты ε_k) не может быть больше удлинения арматуры ε_a , при определении требуемого F_k следует учитывать разницу в модулях упругости стали и композита. Тогда формула 4 примет вид:

$$F_k = \frac{\Delta M}{(h - x') \cdot 0{,}9 \cdot R_k} \cdot \frac{E_k}{E_a} \qquad \ldots (5)$$

г) Примеры расположения холстов в разрезной балке приведены на рисунках 1 и 2 для случая предварительно напряжённых балок и рисунке 3 для случая Т-образных балок с обычной арматурой (далее – каркасные балки).

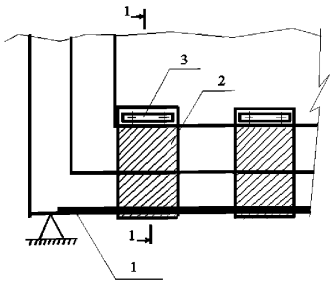


1 – ленты (холсты) усиления;

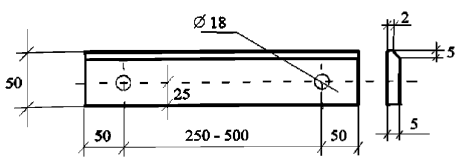
2 - хомуты

Рисунок 1 – Пример расположения дополнительной арматуры (холстов или лент) по низу балки с напрягаемой арматурой

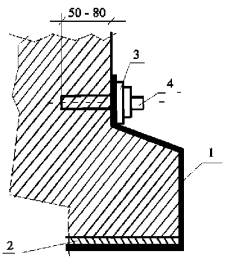
В крайних предварительно напряжённых балках пролётного строения концы хомутов могут быть прижаты стальными пластинами к бетону (рисунок 2) для исключения их отслаивания в случае попадания на балку воды, стекающей через водоотводные трубки или с консоли тротуара. Крепление пластин осуществляют с помощью шпильки, вклеенной в отверстие, которое просверлено в бетоне.



Прижимная планка



Узел крепления
(сечение 1 – 1)



1 – КМ усиления;

2 – вертикальные хомуты;

3 – прижимная планка;

4 – шпилька крепления планки

Рисунок 2 – Закрепление хомутов из КМ на предварительно-напряжённых балках

Пример расчётного определения количества слоёв лент (1) для усиления предварительно напряжённой балки длиной 33 м приведён в Приложении Б, раздел 1.

д) Для случая, предусмотренного на рисунке 3, определяют расстояние «а», равное расстоянию от низа ребра балки до центра сечения

композитного материала. В формуле (2) вместо высоты балки h принимают величину (h-a). Количество обёртывающих холстов определяется расчётом. На рисунке 3 приведён вариант с двумя холстами. При необходимости использования трёх обёртывающих холстов их длины принимают по п.6.1.3 (таблица 4). По концам наружного холста наклеивают вертикальные ленты (хомуты) высотой не менее $0,5 \cdot h^{**}$ (см. рисунок 3).

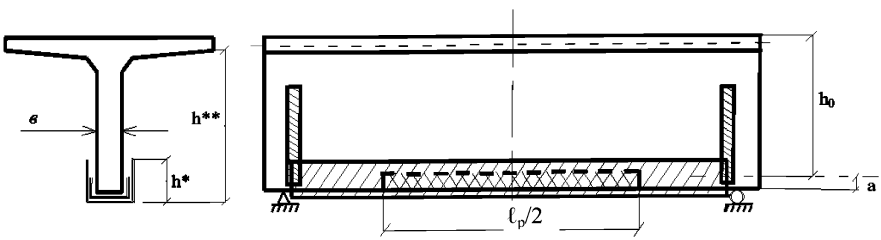


Рисунок 3 – Пример расположения дополнительной арматуры (обёртывающих холстов) по низу каркасной балки

6.1.2.3 Расчёт сечений, наклонных к продольной оси

а) При недостающей прочности сечения, наклонного к продольной оси балки с каркасной арматурой по поперечной силе и изгибающему моменту, определённых в соответствии с требованиями СП, применяют ленты и холсты, расположенные наклонно (параллельно отогнутой арматуре) или вертикально (параллельно хомутам) - рисунок 4.

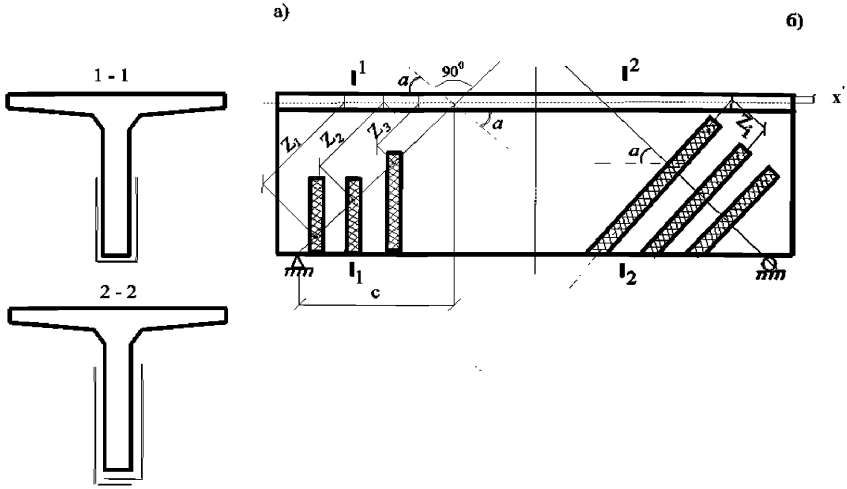


Рисунок 4 – Схема расположения лент на балке с каркасной арматурой при недостаточной прочности наклонного сечения

Для случая усиления вертикальными лентами (рисунок 4,а), расположенными параллельно хомутам, необходимую площадь КМ для усиления по изгибающему моменту в наклонном сечении определяют по формуле (6):

$$F_k \geq \frac{\Delta M}{\sum \sigma_k \cdot z_i}, \qquad (6)$$

где Z_i – расстояние от точки пересечения возможной трещины с осью ленты до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне бетона;

F_k – площадь сечения ленты на длине пересечения её возможной трещиной.

$\sigma_k \leq 0{,}9 \cdot R_k$.

В рассмотренном случае рекомендуется применение лент с двунаправленными волокнами.

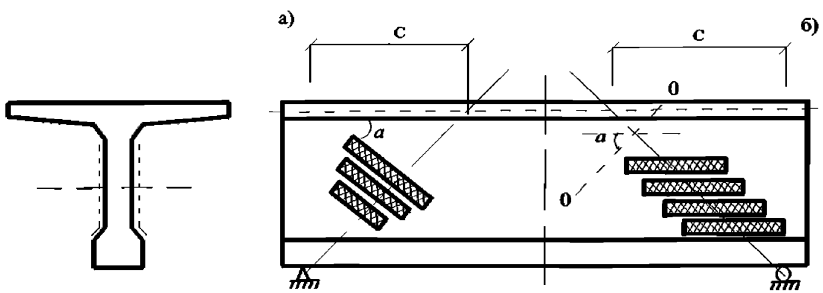
б) Для случая усиления наклонными лентами (рисунок 4,б) могут использоваться ленты с однонаправленными волокнами. Ориентация лент – параллельно наклонной арматуре балки. Количество наклонных лент

определяется из значения требуемой площади F_k по формуле (6). При использовании в одном элементе усиления двух и более лент загибают лишь внешнюю ленту. При усилении предварительно-напряжённых балок по наклонному сечению ленты или холсты располагают только в пределах стенки и наклонной плоскости нижнего пояса (рисунок 5).

в) При необходимости усиления железобетонных балок на действие поперечной силы на длине проекции наклонного сечения «С» (рисунок 4,а), определяемой по СП, количество и сечение лент определяются величиной недостающей несущей способности ΔQ, установленной при обследовании (формула 7).

$$F_k \geq \frac{\Delta Q}{\sum \sigma_k \cdot Sin\alpha}, \qquad (7)$$

где α – угол наклона стержней (пучков) к продольной оси балки в месте пересечения наклонного сечения (см. рисунки 4 и 5).



а – ленты расположены вдоль наклонной арматуры;

б – ленты расположены вдоль оси балки;

0-0 – направление расположения отогнутых участков пучков или стержневой арматуры

Рисунок 5 – Схемы расположения лент (холстов) при усилении предварительно-напряжённых конструкций по поперечной силе

В варианте усиления, представленном на рисунке 5,а, возможно использование однонаправленных лент или тканей (в варианте рисунок 5,б – двунаправленных).

г) Третьей проверкой на прочность наклонного сечения является проверка по главным растягивающим напряжениям, σ_{mt} (формула 8) [1]:

$$\sigma_{mt} = \frac{Q}{b \cdot h^{**} + F_к \cdot \frac{E_к}{E_б}} \le 2{,}5R_{bt}, \qquad (8)$$

где Q – поперечная сила;

b – толщина стенки балки;

h^{**} – высота ребра балки;

$E_к$, $E_б$ – модули упругости холстов (лент) и бетона;

R_{bt} – расчётное сопротивление бетона осевому растяжению.

6.1.2.4 Расчёт на выносливость

Расчёт на выносливость проводится для железобетонной плиты проезжей части в случаях, когда существующие плиты имеют повреждения (трещины) либо недостаточное сечение нижней арматуры по сравнению с требованиями типовых проектов или проектной документации. Необходимость усиления плиты определяется из сопоставления проектного (требуемого) приведённого момента инерции сечения с фактическим (на длине плиты 1,0 м). Снижение момента инерции плиты (ΔJ_{red}) компенсируется композиционным материалом при проверке выносливости по арматуре, используя формулу 7.87 СП.

Требуемая для компенсации площадь сечения лент или холстов определится по формуле (9):

$$F_k \geq \frac{4 \cdot E_a}{E_k} \cdot \frac{\Delta J_{red}}{h_{пл}^2}, \qquad (9)$$

где ΔJ_{red} – величина снижения момента инерции плиты из-за повреждений;

$h_{пл}$ – толщина плиты.

Усиленное сечение проверяют по формуле 118 Свода правил.

6.1.3 Расчёт сечений по второму предельному состоянию

Вторая группа предельных состояний предусматривает расчёт по прогибам и трещиностойкости. Расчётную проверку изгибаемых конструкций по предельному состоянию выполняют в последовательности:

-расчёт по прогибам,

-расчёт по трещиностойкости.

6.1.3.1 Расчёт конструкций по прогибам

Расчёт выполняют в том случае, когда прогиб конструкций от нормативной временной нагрузки превышает прогиб, допускаемый Сводом правил. Подобная ситуация может иметь место, если в балке появились повреждения, снижающие её жёсткость. Прогиб конструкций (балок, плит, коробчатых пролётных строений) сопровождается удлинением нижних волокон, от величины которого зависит количество слоёв лент (холстов) в композиционном материале (КМ).

Для разрезной балочной конструкции, имеющей прогиб от нормативной временной нагрузки «y», удлинение (Δ) нижних волокон бетона определяют из условия равенства углов β*, приведённых на рисунке 6 (формула 10).

$$\frac{1{,}6 \cdot y}{t_\rho/2} = \frac{\Delta}{2 \cdot (h - x)}; \qquad \Delta = \frac{6{,}4 \cdot y}{t_\rho}(h - x) \qquad (10)$$

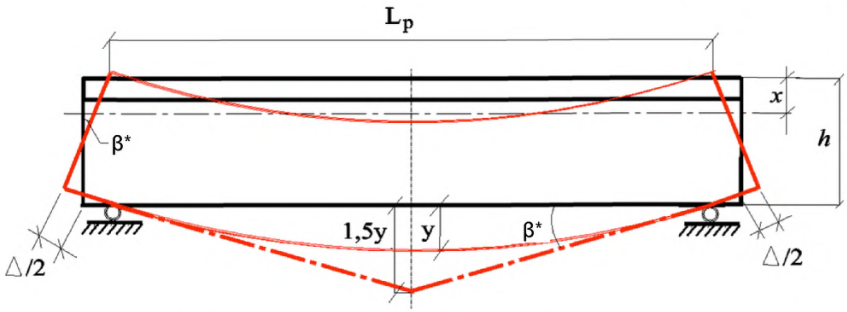


Рисунок 6 – Схема деформации пролётного строения при изгибе

Относительное удлинение нижних волокон ε различно по длине балки – равно нулю у опор и максимальное в $\ell_р/2$. Изменение величины ε отражено формулой 11:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{\ell_p} \cdot k \qquad (11)$$

где k – коэффициент изменения величины относительного удлинения по длине балки, значения которого для различных сечений приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Коэффициенты неравномерности относительных удлинений по низу балки

Сечение по длине балки	над опорной частью	ℓ/2	ℓ/3	ℓ/4	ℓ/5	ℓ/6	ℓ/8	ℓ/10
Значение коэфф. неравномерности, k	0	1,5	1,4	1,25	1,1	1,0	0,8	0,5

Усиление конструкций требуется в случаях, когда прогиб от нормативной временной нагрузки превышает допустимую Сводом правил величину $[y] = \frac{1}{400} \cdot \ell_р$. Усиление конструкций из-за превышения допустимого прогиба осуществляют по результатам расчёта по изгибающему моменту и расчёта по жёсткости.

а) Расчёт по изгибающему моменту

Определяют, на сколько необходимо увеличить момент внутренней пары сечения (ΔМ), чтобы прогиб не превышал $\frac{1}{400} \cdot \ell_р$. По величине момента ΔМ (формулы 12 и 13) подбирают сечение КМ.

$$\sigma \cdot F_k \cdot (h - x') \geq \Delta M \ , \qquad (12)$$

где $\sigma = E_k \cdot \varepsilon_i = \frac{\Delta \cdot k}{\ell_p} = \frac{6{,}4 \cdot y \cdot (h - x')}{\ell_p^2} \cdot k$ (13)

б) Расчёт по жёсткости

Определяют, на сколько увеличена жёсткость сечения балки или плиты, чтобы прогиб конструкции уменьшился до нормативного значения. Недостающая жёсткость компенсируется за счёт увеличения момента инерции сечения ΔJ (формула 14).

$$F_k \cdot \frac{E_k}{E_\sigma} \cdot (h - x')^2 \geq \Delta J \qquad (14)$$

По результатам расчёта определяется требуемая площадь сечения лент F_k.

Если для усиления конструкции, исходя из расчётов по прогибам в $\ell_р/2$ требуется наклейка КМ с одной лентой, то длину КМ допускается принимать равной $\ell_р/2$. При количестве лент усиления 2 и более длины участков, усиленных КМ, принимают по таблице 4.

Т а б л и ц а 4 – Длины лент усиления, используемых в КМ

Общее количество лент	Длины лент (не менее)			
	Лента №1	Лента №2	Лента №3	Лента №4
1	$\ell_р/2$	-	-	-
2	$\ell_р/2$	$\ell_р$	-	-
3	$\ell_р/2$	$\frac{2}{3} \cdot \ell_р$	$\ell_р$	-
≥4	$\ell_р/2$	$\frac{2}{3} \cdot \ell_р$	$\frac{3}{4} \cdot \ell_р$	$\ell_р$

Приведённые в таблице 6.2 длины КМ учитывают положение точки теоретического обрыва ленты. Пример расчёта по прогибам приведён в Приложении Б (раздел 2).

Результат расчёта сопоставляют с результатом расчёта по первому предельному состоянию (см. пример расчёта №1) и окончательно принимают наибольшее количество слоёв, требуемых для усиления балки.

6.1.3.2 Расчёт конструкций по трещиностойкости

При расчёте по образованию трещин в конструкциях, усиленных композиционными материалами, пользуются общими требованиями СП (п.п. 7.102-7.104), рассматривая усиленную конструкцию как конструкцию со смешанным армированием на воздействие временной нагрузки. При этом:

-в площадь приведённого поперечного сечения конструкции входит выражение [6]:

$$F_k \cdot \frac{E_k}{E_б},$$

-момент инерции приведённого сечения включает в себя момент инерции композиционного материала (относительно нейтральной оси балки)

$$\frac{j_k \cdot E_k}{E_б},$$

где $E_б$ – модуль упругости бетона при сжатии.

Расчёт по раскрытию трещин выполняют по формулам 7.93 и 7.94 Свода правил, используя значения радиуса армирования R_r (формула 7.100 СП) и коэффициента раскрытия трещин ψ для усиляемой балки. При этом коэффициент раскрытия трещин принимают равным:

-0,35·R_r – для предварительно-напряжённых балок;

-1,5· $\sqrt{R_r}$ - для каркасных балок.

При определении радиуса армирования R_r площадь сечения лент усиления приводят к площади применённой в конструкции стержневой арматуры или пучков. Коэффициент β в формуле 7.100 СП принимают равным:

-1,00 – для балок с гладкой арматурой и арматурой периодического профиля;

-0,65 – для балок, армированных пучками.

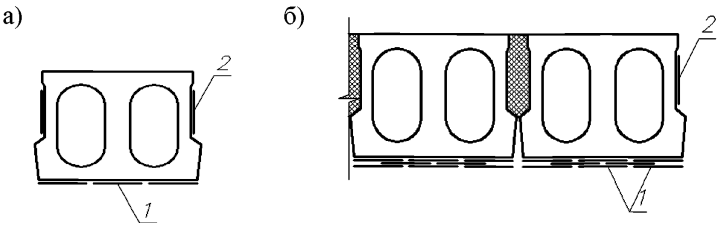
Указанные положения учтены в примере расчёта №3, приведённого в Приложении Б, раздел 3.

6.2 Усиление железобетонных плит пролётных строений

При усилении плит с целью восстановления или увеличения несущей способности используют ленты шириной 250÷300 мм, наклеиваемые снизу и(или) сбоку (поз. 1 и 2 на рис. 7). Возможны две принципиальные технологии усиления. Первая из них применима при усилении плит, не имеющих повреждений, снижающих несущую способность, и предназначенных для повторной эксплуатации в условиях повышенного уровня нагружения. Как правило, в этих случаях проводят и замену продольных швов омоноличивания. Демонтаж плит даёт возможность вести усиление без подмостей, разместив усиляемую плиту на ремонтируемом сооружении. В этом случае для усиления наклеивают ленты снизу и на две боковые поверхности (рис. 7,а). Количество лент определяется расчётом по первому и второму предельным состояниям, принимая во внимание, что усиление производят по недостающему изгибающему моменту, включающему в себя помимо момента от временной нагрузки и момент от постоянной нагрузки от слоёв дорожной одежды мостового сооружения.

Вторая технология предусматривает усиление повреждённых плит, то-есть плит с уменьшенной жёсткостью из-за наличия различных повреждений. При проверке прочности по наклонному сечению крайних плит горизонтальные волокна в расчёт не принимают, а учитывают сечения только вертикальных волокон (в пределах расстояния «с» по рисунку 4). В этом случае вначале выполняют восстановительные работы (инъецирование трещин, заделку сколов, бетонирование повреждённых стенок и др.) и после этого осуществляют усиление.

Усиление лентами эксплуатируемых сооружений осуществляют, как правило, снизу, проводя работы с подмостей. Для крайних плит с повреждением защитного слоя имеется возможность усиления восстановленного защитного слоя по фасаду. При усилении фасадных поверхностей рекомендуется применять ленты или холсты с двунаправленными волокнами (поз. 2 на рис. 7 б).



1– ленты, наклеиваемые снизу, 2 – ленты, наклеиваемые сбоку

Рисунок 7 – Схемы усиления плит

а) демонтированных с пролётного строения,

б) в составе пролётного строения

6.3 Усиление железобетонных элементов опор

Использование тканевых композиционных материалов при ремонте опор наиболее эффективно при усилении круглых элементов – сплошных бетонных стоек опор или оболочек. Холсты или ленты наматывают на стойку, начиная с верхних участков. При отсутствии горизонтальных трещин в стойках допускается использование однонаправленных тканей.

Усиление круглых стоек за счёт создания внешней обоймы из КМ осуществляют в случае, когда необходимо увеличить их несущую способность для повышения грузоподъёмности опор. При этом внешняя обойма из КМ выполняет ту же функцию, что и кольцевая арматура, охватывающая вертикальные стержни стоек. Сечение дополнительного армирования может быть определено по формуле 15 с использованием коэффициентов условия работ m_Q и $m_к$.

$$R_к \cdot F_к \geq \left(1 + \frac{\Delta Q}{Q}\right) \cdot R_a^x \cdot F_a^x \cdot \frac{m_к}{m_Q}, \quad (15)$$

где: ΔQ – увеличение вертикальной нагрузки Q на стойку опоры;

$R_a^x; F_a^x$ – расчётное сопротивление арматуры хомутов и площадь их сечения на единице высоты стойки;

m_Q – коэффициент условия работ, равный соотношению модулей упругости стали и лент из углепластика (m_Q = 0,8÷0,85);

$m_к$ – коэффициент условия работы композиционного материала, принимаемый равным:

$m_к$ = 1,0 – для сплошного сечения тела стойки без трещин,

$m_к$ = 1,1 – для сплошного сечения тела стойки при наличии в ней трещин раскрытием до 0,15 мм (m=1,15 - с раскрытием трещин >0,15 мм),

$m_к$ = 1,2 – для оболочек, заполненных бетоном,

$m_к$ = 1,25 – то же, с раскрытием трещин до 0,15 мм (m=1,3 – с раскрытием трещин свыше 0,15 мм).

Усиление холстами стоек или ригелей прямоугольного сечения наиболее эффективно при увеличении их несущей способности на действие поперечной силы. При расчёте усиления сечение композиционного материала принимается с коэффициентом условия работы m_Q.

При усилении ригелей, изгибаемых при действии временной нагрузки, необходимость усиления на участках появления растягивающих напряжений определяют по величине возможного удлинения волокон бетона на отдельных участках ригеля. При необходимости усиления прямоугольных элементов опор с использованием холстов подбор сечений холстов осуществляют с учётом возможной коррозии арматуры из-за недостаточного защитного слоя: при толщине бетона защитного слоя $\leq$ 10 мм добавляют один слой холста (ленты) к тому, что требуется по расчёту. Углы прямоугольных элементов скругляют.

7 Конструктивные и технологические требования

Перечень работ, выполняемых в процессе усиления, приведён на схеме рис. 8. Работы отнесены к трём основным видам – подготовительные работы, работы по усилению и контроль качества работ.

7.1 Подготовительные работы

Подготовка к наклейке предусматривает очистку и выравнивание поверхностей конструкций.

а) Очистка.

Очистку поверхности бетона в зависимости от ее состояния выполняют механическим, гидравлическим или комбинированным способом, с учётом наличия технологического оборудования.

Для механической обработки поверхности используют перфораторы, металлические щётки, пескоструйные и дробеструйные установки. Для гидравлической обработки поверхности применяют водоструйные установки высокого (1-5 МПа) давления. Комбинированный способ подготовки железобетонной поверхности предполагает последовательное использование технологического оборудования для механической и гидравлической обработки поверхности или использование водопескоструйной установки высокого давления воды.

Подготовка поверхности бетона заключается в очистке от затвердевшего «цементного молока», лакокрасочных покрытий, слоев старых ремонтных и грунтовочных материалов, загрязнений и высолов. Для очистки бетонной поверхности от загрязнений нефтепродуктами, жирами и другими органическими соединениями используют органические растворители (уайт- спирит, сольвент и др.), растворы моющих средств, соды. При использовании любого из способов подготовки поверхности участки слабого бетона удаляют с обязательным заглублением в «здоровый» бетон.

После удаления повреждённого бетона поверхность подвергают песко- или водоструйной обработке. Для пескоструйной обработки

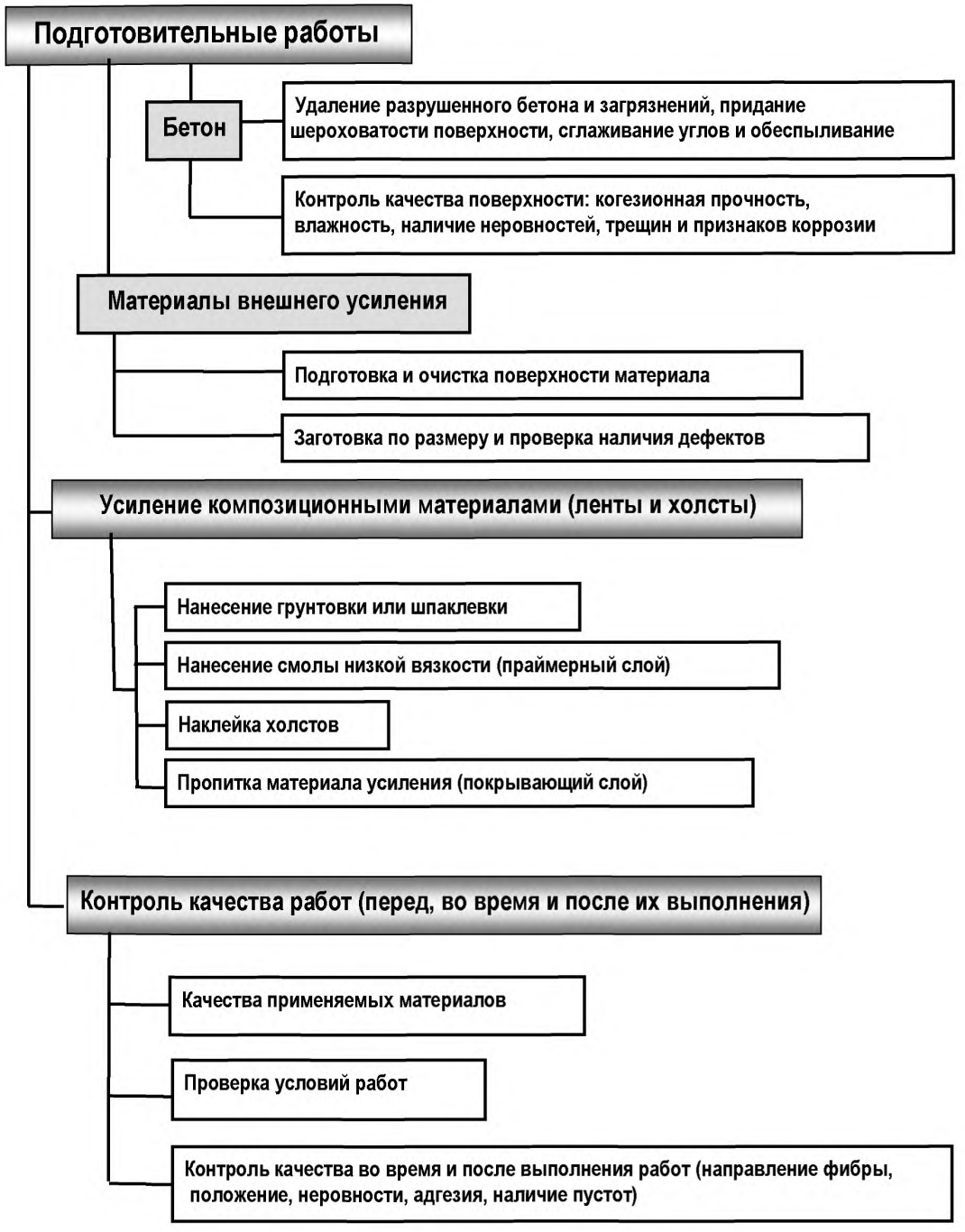


Рисунок 8 – Технологическая схема усиления с использованием композиционных материалов

применяют только сухой природный песок по ГОСТ 8736. Требования к зерновому составу песка назначают с учётом применяемого технологического оборудования. Расход песка принимают из расчёта 0,02-0,05 $м^3$ на $м^2$ подготавливаемой поверхности в зависимости от её состояния.

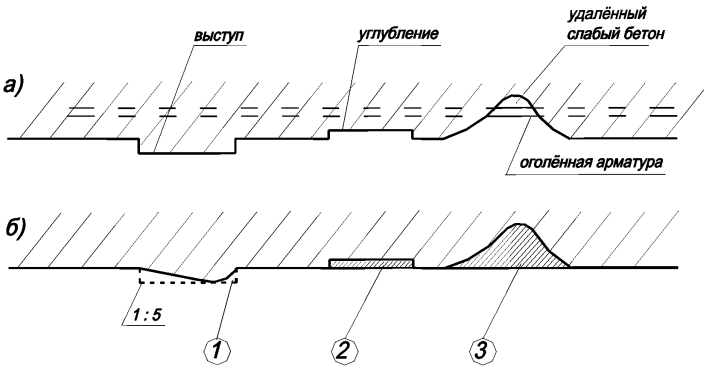
Выступающую на поверхность арматуру следует очистить от продуктов коррозии. При невозможности полной очистки пескоструйным способом допускается использование преобразователей ржавчины, которые наносят на арматуру малярной кистью в два-три приёма. По истечении 1-3 суток продукты взаимодействия преобразователя и ржавчины тщательно смывают водой, а обработанный участок просушивают воздухом под давлением 1-2 атм.

б) Выравнивание поверхности

Чтобы исключить концентрацию напряжений в наклеиваемых лентах и обеспечить в них равномерное распределение растягивающих напряжений, рекомендуется проверять ровность поверхности с помощью 1-метровой рейки. Допускается максимальное отклонение 1 мм на полосе длиной 30 см.

Если данное требование не соблюдается, то выравнивают поверхность, удалив предварительно выступающие части поверхности абразивным инструментом со срезкой углов 1:5 и закруглением острых кромок (рис. 9).

Допускаемая неровность поверхности - не более 5 мм на базе 2 м или 1 мм на базе 0,3 м. Мелкие дефекты (сколы, раковины, углубления до 5 мм) устраняются с применением полимерцементных составов либо эпоксидных составов с наполнением молотым кварцевым песком. Выравнивание значительных (более 25 $см^2$) участков поверхности производится с использованием полимерцементных ремонтных составов путем ручной шпатлевки.



1– срезка углов выступов; 2– заполнение впадин клеевым составом;

3 – бетонирование ниш после удаления слабого бетона

Рисунок 9 – Схема неровностей в бетонной конструкции (разрез по стенке) до подготовки поверхности и после подготовки поверхности к наклейке

Поверхность очищают от краски, масла, жирных пятен, цементной пленки. Очистку поверхности осуществляют путем образивоструйной обработки или обработки металлическими щетками с последующей высоконапорной промывкой водой (под давлением не менее 50 атм).

В случае разрушения (отслоения) защитного слоя бетона в результате коррозии арматуры, обнаженную арматуру очищают от продуктов коррозии, обрабатывают ее грунтом (преобразователем ржавчины) и после этого восстанавливают защитный слой ремонтными составами.

При устройстве обойм и хомутов из холстов в поперечном направлении конструкции на её наружных углах устаивают фаски с катетом 1-2 см, либо предусматривают галтель с радиусом 1-2 см, а на внутренних углах выполняют галтель радиусом не менее 20 см (рис. 10).

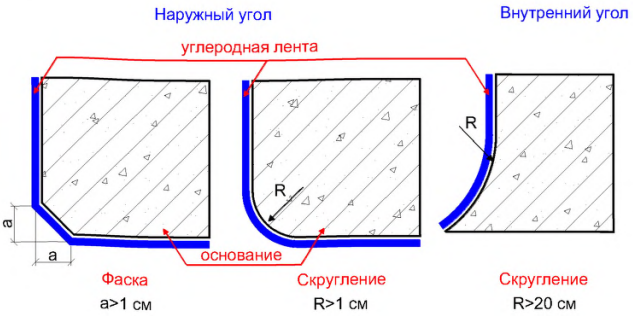


Рисунок 10 – Подготовка углов конструкции перед наклейкой холстов

в) Работа с трещинами

Трещины с раскрытием более 0,30 мм инъектируют низковязким эпоксидным составом, трещины с меньшим раскрытием могут быть затерты полимерцементным раствором. После подготовки поверхности на неё наносятся мелом линии разметки в соответствии с принятой проектом схемой приклеивания элементов внешнего армирования. После подготовки поверхности определяют прочность бетона на участках, где предполагается наклейка лент. Прочность бетона определяют механическими методами неразрушающего контроля в соответствии с требованиями ГОСТ 22690.

Рекомендуется, чтобы класс бетона по прочности (на сжатие) усиляемых балок пролётных строений был не менее В25. Усиление сжатых элементов (колонн) выполняют при классе бетона по прочности не менее В20. Если бетон в зоне усиления не удовлетворяет указанным требованиям, осуществляют его упрочнение (например, с помощью пропитки), либо замену. При замене защитного слоя бетона на новый необходима проверка когезионной прочности нового бетона (раствора): желательно иметь прочность не меньше расчётного сопротивления бетона растяжению (R_{bt}).

7.2 Технология усиления

7.2.1 Раскрой холстов производится в удобных для работы условиях в соответствии с принятой проектом схемой наклейки.

Раскрой холстов осуществляется на гладком столе (верстаке), покрытом полиэтиленовой пленкой. Рекомендуется, чтобы стол был снабжен приспособлением для разматывания холстов с бобины. Для резки холстов используют ножницы или острый нож. Нарезанные холсты сматываются в рулон, снабжаются этикеткой с указанием номера, размера и количества заготовок и помещаются в полиэтиленовый мешок.

7.2.2 При приготовлении клея компоненты А и Б (эпоксидная смола и отвердитель) смешиваются в соотношениях, определяемых техническими условиями. Рекомендуемый максимальный объём разовой навески клеевой смеси - 8 л (достаточно для нанесения одного слоя на половину длины балки длиной 24 м).

Приготовление клея производится в чистой металлической, фарфоровой, стеклянной или полиэтиленовой емкости объемом не менее 3-х литров следующим образом. В емкость отвешивается необходимое количество компонента А, добавляется требуемое по соотношению количество компонента Б и производится тщательное перемешивание вручную деревянной или алюминиевой лопаткой, либо с помощью низкооборотной дрели с насадкой (до 500 оборотов в минуту с целью ограничения аэрации смеси). Емкость закрывают крышкой, снабжают этикеткой с указанием времени приготовления и передают к месту производства работ.

7.2.3 Перед нанесением на бетонное основание слоя клея поверхность бетона продувают сжатым воздухом, после чего на поверхность наносят праймерный слой с целью пропитки бетона и заполнения мелких неровностей. На высохшую поверхность наносят первый слой клея с помощью шпателя, кисти, валика с коротким ворсом.

На слой клея укладывают (раскатывают) холст (ленту) с одного края

усиляемой конструкции до другого. В процессе укладки необходимо следить, чтобы внешняя кромка ленты была параллельна линии разметки на бетоне.

Холсты (ленты) раскатывают таким образом, чтобы в них не было складок и без излишнего натяжения. После укладки осуществляется прикатка (прижатие) холста (ленты), в процессе которой происходит его пропитка. Прикатку осуществляют с помощью шпателя или жесткого резинового валика от центра к краям строго в продольном направлении (вдоль волокон холста).

Перед укладкой второго слоя холста (при многослойной схеме внешнего армирования) на прикатанный первый слой холста наносится следующий слой клея. Укладка и прикатка второго и последующих слоев холста производится аналогичным образом. После укладки последнего слоя холста на его поверхность наносится финишный слой клея. Расход клея при приклеивании элементов внешнего армирования зависит от качества поверхности конструкции, типа состава, температуры и влажности окружающей среды и указывается в проекте производства работ.

7.2.4 По специфике производства работ можно выделить три области приклеивания холстов:

-приклеивание на горизонтальные поверхности сверху (например, для усиления плиты над ребром балки или поверхности нижней плиты внутри коробок);

-приклеивание на горизонтальные поверхности снизу;

-приклеивание на вертикальные поверхности.

При наклейке на горизонтальные поверхности сверху холст постепенно укладывается без натяжения от центра к краям, разглаживается и прикатывается валиком. Укладка осуществляется двумя рабочими. Укладка каждого последующего слоя может начинаться сразу же после завершения прикатки предыдущего слоя.

При наклейке на горизонтальные поверхности снизу («потолочная» наклейка) холст прижимается (фиксируется) с одного конца и затем

постепенно укладывается и прикатывается по всей длине. При этом холст можно предварительно нарезать (заготовить) на отрезки проектной длины, либо постепенно разматывать с бобины и обрезать по месту в процессе приклеивания. Прикатка холста осуществляется от центра к краям с целью предотвращения образования складок. Как правило, приклеивание холста на потолочную поверхность осуществляется двумя рабочими.

7.2.5 В зависимости от вязкости клея (определяемой в значительной мере температурой окружающей среды), приклеивание холста производится непосредственно вслед за нанесением клея, либо после некоторой выдержки (не превышающей 20 мин), за время которой вязкость клея возрастает, обеспечивая тем самым фиксацию холста на потолочной поверхности (холст не отслаивается после прикатки). Время выдержки определяется экспериментально путем пробного приклеивания. Продолжительность выдержки перед приклеиванием каждого последующего слоя определяется аналогичным образом. Рекомендуется, чтобы количество приклеиваемых слоёв ткани не превышало шести. Если по расчётам необходимое количество слоёв лент усиления превышает шести, то желательно искать альтернативные методы усиления (например, с использованием стальных профилей или пучков).

7.2.6 При выполнении внешнего армирования на вертикальных поверхностях нанесение клея на основание производится сверху вниз. Приклеивание поперечных относительно оси конструкции полос холста осуществляется путем фиксации (прижатия) холста в верхней части и постепенной укладки и разглаживания по высоте с последующей прикаткой.

Приклеивание продольных полос холста на вертикальные поверхности производится путем его фиксации в крайнем (левом или правом) положении с последующей укладкой и прикаткой его по длине. Время выдержки перед приклеиванием каждого последующего слоя определяется таким же образом, как и при приклеивании на горизонтальные поверхности.

Выполнение многослойных элементов внешнего армирования на вертикальных поверхностях в продольном и поперечном направлениях («сетка») производится путем последовательного послойного приклеивания полос холста попеременно в 2-х направлениях. Операции по приклеиванию холстов могут выполняться при температуре окружающей среды в диапазоне +5 °С - +35 °С; при этом следят, чтобы температура бетона основания не была ниже 5 °С и выше температуры точки росы на 3 °С.

7.2.7 Клеи не наносят на замерзшие поверхности. В случаях, когда температура поверхности бетона ниже допустимого уровня, может иметь место недостаточное насыщение волокон и/или низкая степень отверждения смолы, что отрицательно скажется на работе системы внешнего армирования. Для повышения температуры основания могут быть использованы дополнительные локальные источники тепла. Клеи не наносят на мокрую поверхность. Открытую влагу удаляют, поверхность вытирают и продувают сжатым воздухом.

Полное отверждение клея в естественных условиях происходит в течение нескольких суток и в значительной мере зависит от температуры окружающей среды. Как правило, время отверждения составляет не более 24 часов при температуре выше 20 °С и не менее 36 часов при температуре от 5 °С до 20 °С.

7.2.8 Для обеспечения безопасности (пожарной, защиты от вандализма) или по эстетическим соображениям элементы внешнего армирования на заключительной стадии работ могут быть дополнены различными покрытиями, совместимыми с эпоксидным связующим (красками на эпоксидной основе, полиуретановыми покрытиями, специальными огнеупорными составами). Для лучшего сцепления этих покрытий с элементом внешнего армирования поверхность последнего после укладки финишного слоя связующего присыпается тонким слоем сухого песка крупностью 0,5÷1,5 мм.

Область применения технологии усиления с использованием лент и холстов ограничена по характеристикам клеевого состава, а именно: на территориях с минимальной среднесуточной температурой воздуха наиболее холодных суток (в зимний период) с обеспеченностью 0,95 не ниже минус 40 °С по СНиП 23-01 [4], а также температурах воздуха теплого периода года с обеспеченностью 0,95 не выше плюс 30 °С по СНиП 23-01.

При раскрытии трещин в балках на момент обследования (то-есть при действии только постоянной нагрузки) на величину, не превышающую указанную в Своде правил от воздействия временной нагрузки, допускается выполнить лишь поверхностную герметизацию трещин. Эти работы, направленные на повышение долговечности железобетонных балок, рассматриваются как временные, обеспечивающие безопасную эксплуатацию конструкций на период не более 10 лет.

Поверхностная герметизация может выполняться и после вскрытия бетона вдоль трещин на глубину не более толщины защитного слоя и на ширину 15±5 мм. Вскрытый канал заполняют клеевым составом или полимеррастворoм. После отверждения клея поверх трещины наклеивают ленту шириной 150÷200 мм (в зависимости от очертания трещины) с двунаправленными волокнами. Глубинная герметизация предусматривает инъецирование трещин с последующей наклейкой тканевых материалов.

7.2.9 При частом расположении мелких трещин на локальном участке поверхности балки допускается перекрытие этого участка холстами с однонаправленным расположением волокон. Наклейка тканевых материалов наиболее эффективна при наличии силовых трещин в зоне максимальных главных напряжений балок, при нейтрализации трещин в сваях-оболочках или круглых сваях, усилении защитного слоя любых железобетонных конструкций.

7.3 Рекомендации по безопасности работ

7.3.1 Общие положения

Все работы производят при строгом соблюдении правил и норм техники безопасности и противопожарной защиты, установленных ГОСТ 12.1.007, ГОСТ 12.3.002, ГОСТ 12.4.009, ВСН-37-84 [5].

Места производства работ обустраивают инвентарными подмостями или лесами и настилами таким образом, чтобы расстояние между настилом и обрабатываемой поверхностью конструкции составляло 1÷1,2 м, а высота яруса – 2 м. Ширина подмостей или лесов принимают не менее 1,0 м, что обеспечивает свободное перемещение рабочих вдоль всего фронта работ. Ремонтные работы на высоте более 2,0 м выполняют с подвесных или стоечных подмостей, люлек или других средств, обеспечивающих безопасное выполнение работ. Леса и подмости, применяемые для производства работ на высоте, следует предусматривать прочными, настил не должен иметь зазоров, по периметру лесов и подмостей следует устраивать перила. С целью обеспечения безопасности работ рекомендуется также использовать передвижные инвентарные люльки, специализированные подъёмно-транспортные машины и оборудование, машины для инспекции и осмотра сооружений.

Для работников, занятых обработкой бетонной поверхности, предусматривают следующую индивидуальную защиту (в соответствии с ГОСТ 12.4.011 и типовыми отраслевыми нормами):

-защитная каска типа шлема с прозрачным щитком, закрывающим лицо,

-респиратор,

-противогазы марок ППФ-95 или ППФ-95С (на случай аварийного разливания кислот или органических растворителей),

-защитные очки;

-спецодежда, не пропускающая воду с плотно застёгивающимися манжетами и воротом,

-резиновые фартуки, сапоги и перчатки (при работе с кислотами, щелочами, при приготовлении клеевых составов).

Используемое технологическое оборудование должно иметь паспорта. Строительные механизмы и электрический инструмент следует заземлять. Лица, привлекаемые к работе с технологическим оборудованием должны пройти инструктаж.

Тканевые материалы из углеродных волокон не представляют опасности для здоровья в условиях нормальной эксплуатации и при соблюдении правил безопасности работы с ними. Однако при непосредственном выполнении работ по усилению волокна могут привести к раздражению кожи, глаз и слизистых оболочек. Поэтому при выполнении работ с ними целесообразно пользоваться индивидуальными средствами защиты.

7.3.2 Безопасность работы с ремонтными составами

Все работающие с клеями должны пройти вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте по технике безопасности и проходить повторный инструктаж не реже одного раза в три месяца. Все процессы, связанные с приготовлением клея, рекомендуется выполнять в изолированных помещениях, снабжённых приточно-вытяжной вентиляцией. Разрешается приготавливать клей в небольших количествах (до 20 кг в смену) в общем помещении с легко открывающимися рамами и фрамугами для проветривания комнаты, но на специальных рабочих местах, оборудованных местным отсосом воздуха. В помещении, где работают с эпоксидными составами, запрещается принимать пищу, курить, пользоваться открытым огнём (паяльные лампы, различные горелки, газо- и электросварка и т.д.)

Летом рекомендуется приготавливать клеи на открытом воздухе. Рабочие при этом находятся с наветренной стороны, чтобы ветер уносил от них токсичные пары, выделяющиеся из клея. В местах выполнения работ по

приготовлению и применению ремонтных материалов вывешивают инструкции по эксплуатации оборудования, правила по технике безопасности с указанием лиц, ответственных за проведение ремонтных работ. Требования безопасности соблюдают и при подготовке поверхности к нанесению клеев на эпоксидной основе. Компоненты клея хранят на складе в герметичных ёмкостях. Производственный персонал может быть допущен к выполнению работ по подготовке составов, их нанесению на поверхности конструкций только при наличии индивидуальной защиты, соответствующей требованиям ГОСТ 12.4.011.

Все отходы утилизируют согласно существующему законодательству. В зоне, где проводится работа по приготовлению клея, запрещается принимать пищу, курить, пользоваться открытым огнём. Около рабочего места рекомендуется иметь чистую воду, свежеприготовленный физиологический раствор (0,6÷0,9%-ный раствор хлористого натрия), чистое сухое полотенце, протирочный материал.

К работе с клеями допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр и имеющие допуск. При работе с эпоксидными смолами и их отвердителями требуется аккуратность и строгое соблюдение правил безопасности. Необходимо следить за чистотой рук, полотенец, спецодежды, рабочих столов, инструментов и посуды. При работе пользуются защитными очками. Спецодежду меняют не реже одного раза в неделю.

Тщательное мытье рук производят не только во время перерывов (туалет, приём пищи) и после окончания работы, но и после случайного загрязнения рук смолой и отвердителем. При попадании на кожный покров эпоксидной смолы или отвердителя немедленно промывают это место теплой водой и протирают тампоном, смоченным в этиловом спирте. Для защиты кожи рук применяют резиновые перчатки или защитные мази и пасты, силиконовый крем и др. При попадании клея в глаза необходимо сразу промыть их большим количеством тёплой воды и немедленно обратиться к врачу.

Попавшую на рабочее место или инструмент эпоксидную смолу удаляют ацетоном, а затем этот предмет или место вымывают теплой водой с мылом.

7.3.3 Безопасность работ при инъецировании трещин

Мероприятия по технике безопасности при производстве инъекционных работ и работ по лечению трещин в балках пролётных строений, насадках и столбах-оболочках опор мостов должны отвечать требованиям ГОСТ 12.1.013 и ВСН 37-84 [5] .

К инъекционным работам допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие обучение по правилам техники безопасности. Рабочие допускаются к работам после прохождения медицинского осмотра, обучения их способам первой помощи при несчастных случаях.

Работы, связанные с обслуживанием стандартных механизмов и приспособлений, выполняют в соответствии с требованиями типовых инструкций и указаний по технике безопасности для данного оборудования. Растворонагнетатели рекомендуется проверять до начала работ под давлением, в 1,5 раза превышающим предусмотренное проектом (регламентом). Запрещается пользоваться установками, работающими под давлением при отсутствии или неисправности манометров. Исправность манометров проверяют ежедневно перед началом работы.

Перед началом сверлильных работ проверяют состояние перфораторов, их заземление, опробуют инструмент на холостом ходу.

Во время бурения перфораторами не рекомендуется:

-производить работы без пылеулавливания;

-при заклинке бура придерживать его руками;

-работать без защитных очков;

-извлекать заклинившийся бур без ключа и специального приспособления.

Рабочих, занятых на инъекционных работах, следует снабжать

спецодеждой, предусмотренной действующими нормами на спецодежду для бетонщиков.

8 Контроль качества работ

Требования к входному, операционному и приёмочному контролю углеродных лент и холстов, контролю компонентов для приготовления клея, а также методы испытаний элементов усиления могут устанавливаться и уточняться техническими условиями на системы усиления внешним армированием из композитных материалов. Соблюдение требований по контролю способствует обеспечению надёжности усиления несущих конструкций и продлению их срока службы.

8.1 Входной контроль

Входной контроль распространяется на все используемые при производстве работ материалы. До начала работ проверяется наличие сопроводительной документации, производится осмотр состояния упаковки и внешнего вида материалов, проверяется их вес.

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

Документ о качестве обычно содержит следующие данные:

-наименование предприятия-изготовителя;

-дата оформления документа о качестве;

-номер партии;

-наименование продукции;

-количество упаковочных мест;

-результаты испытаний;

-допустимый срок хранения;

-соответствие требованиям Технических условий;

-штамп и подпись отдела контроля качества предприятия-изготовителя.

Перед приготовлением клеевого состава проверяется наличие сопроводительной документации и качество упаковки компонентов. Фактически срок хранения материалов не должен превышать допустимый срок по паспорту.

8.2 Операционный контроль

При операционном контроле проверяют качество поверхности и качество наклейки материалов. Качество подготовки железобетонной поверхности оценивают по её чистоте, влажности поверхностного слоя бетона (отсутствие влаги на поверхности), ровности. Качество подготовки железобетонной поверхности конструкций по чистоте и влажности контролируют визуально.

Ровность бетонной поверхности контролируется с помощью линейки или рейки длиной 1 м. При невыполнении условия ровности поверхности выравнивают. Прочность бетона основания определяется одним из методов неразрушающего контроля прочности в соответствии с ГОСТ 22690 или ультразвуковым методом в соответствии с ГОСТ 17624.

В процессе приготовления клея контролируется точность дозирования компонентов, однородность массы после перемешивания, отсутствие посторонних включений и сгустков (визуально). При нанесении клея на поверхность бетона визуально, по весовому расходу или с помощью гребёнки [6, 7] контролируют толщину и равномерность слоя, отсутствие непокрытых клеем участков, складок. Отклонение волокон от принятой проектом ориентации не должно превышать 5-ти градусов. Расход клея на 1 м^2 поверхности должен находиться в пределах 3÷5 кг на один слой.

Перед нанесением клея и в процессе наклейки и отверждения регистрируется температура окружающей среды, влажность, температура на поверхности бетона и продолжительность отверждения. Рекомендуется, чтобы указанные параметры имели значения:

-температура воздуха – не ниже +10 °С,

-влажность воздуха – не более 4 %,

-температура поверхности бетона – на 3 °С и более должна превышать температуру точки росы.

8.3 Приёмочный контроль

При приёмочном контроле осуществляют визуальную проверку качества наклейки композитов, при которой выявляют дефекты. Выявление внутренних дефектов (не проклеенных мест, отслоений) осуществляется путём акустического зондирования, легкого постукивания поверхности КМ деревянным молотком либо другим методом неразрушающего контроля.

По результатам контроля оценивают влияния непроклея или отслоений на конструкционную целостность усиливающего элемента. При этом учитывается размер отслоений, их расположение и количество относительно общей площади усиляющего элемента. Допускается отслоение площадью каждое не более 10 $см^2$, суммарная площадь отслоений - менее 3 % общей площади наклеиваемого материала. Отслоения площадью более 10 $см^2$ необходимо отремонтировать путём вырезания дефектных участков и установки заплатки с таким же количеством слоёв.

Результаты входного, операционного и приёмочного контроля заносятся в сопроводительную документацию производства работ. Целесообразно провести испытание сооружения после усиления с определением достигнутой грузоподъёмности.

После выполнения работ по поверхностной герметизации трещин рекомендуется в шестимесячный срок в рамках текущего осмотра провести визуальный контроль качества ремонтных работ. При наличии отклеившихся участков герметизирующих холстов выполняют работы по устранению дефектов.

После усиления конструкций режим движения может быть частично восстановлен спустя 10 часов (20 часов) при температуре воздуха плюс 15 °С и выше (ниже плюс 15 °С до плюс 5 °С)*.

При проверке состояния наклеенных лент и холстов целесообразно проверить возможность попадания на вертикальные фасадные поверхности солнечных лучей. Если на элементы усиления могут попадать солнечные лучи рекомендуется поверхность КМ защитить лакокрасочными материалами, совместимыми с применяемым клеем.

8.4 Рекомендации по мониторингу и научному сопровождению

8.4.1 Научное сопровождение

При использовании настоящих рекомендаций на практике (при проектировании и выполнении работ по усилению) целесообразно осуществлять научное сопровождение, предусматривающее контроль и помощь при выполнении работ, приводимых ниже.

8.4.1.1 Стадия проектирования:

-проверка правильности принятых схем усиления (расположение тканевых материалов, последовательность работ);

-корректность расчётов (обоснованность количества слоёв тканевых материалов);

-наличие в проектах технологических требований, на которых основываться рабочая документация.

В рабочей документации необходимо предусматривать раздел по технологии усиления, включающий в себя требования по подбору клеевой смеси, технологии работ, отражающей:

-контроль за температурой воздуха;

-требования по определению прочности защитного бетонного слоя и его толщины;

---

* Под частичным восстановлением режима движения подразумевается пропуск транспортных средств общей массой до 24 т. Движение транспортных средств массой свыше 24 т может быть разрешено спустя 24 часа после усиления.

-последовательность работ;

-требования безопасности работ при приготовлении клея и его нанесения на поверхность бетона.

8.4.1.2 Стадия ремонта:

-проверка подготовленности бетонной поверхности;

-проверка наличия документов по приёмке каждой партии клеёв, документы должны содержать следующую информацию:

а) наименование предприятия изготовителя;

б) дату оформления документов о качестве;

в) номер партии;

г) штамп и подпись отдела контроля качества предприятия;

-проверка наличия документов о качестве тканевых материалов:

а) подтверждение размеров холстов и лент (ширина, толщина);

б) результаты испытаний тканевых материалов, определяющих фактические данные по прочности и модулю упругости;

-проверка условий хранения тканевых материалов;

-проверка качества наклейки тканевых материалов на конструкцию и соответствия требованиям рабочей документации.

Сопровождение осуществляется представителями проектной или научной организации.

8.4.2 Мониторинг состояния

Мониторинг за состоянием усиленных конструкций в процессе эксплуатации осуществляется в рамках работ по диагностике или обследованию мостовых сооружений силами научных или проектных организаций. В процессе мониторинга проверяется внешний вид системы усиления, отсутствие дефектов и повреждений, к которым относят:

-повреждение защитного (окрасочного) наружного слоя;

-отслоение кромок наклеенных тканевых материалов;

-загрязнение композиционного материала;

-наличие разрывов или трещин в композиционном материале.

Результаты мониторинга отражаются в отчётах по результатам осмотров конструкций, которые рекомендуется проводить в следующие годы:

-ежегодно в первые 2 года эксплуатации;

-на 4^{й} и 6^{й} годы эксплуатации и далее через 3 года.

По результатам мониторинга составляют отчёт, в котором отражают имеющиеся повреждения (подтверждаются фотографиями).

Приложение А

Требования к составу клеевой смеси (клея)

1 Общие положения

Как правило, подбор и испытания составов клея выполняет производитель композиционных материалов. Результаты контрольных испытаний являются основанием для получения сертификационных документов. Однако на практике могут иметь место случаи, когда закупку материалов осуществляет организация, осуществляющая усиление конструкций. В этом случае необходимо выполнять требования к подбору состава клеевой смеси и испытанию контрольных образцов.

2 Состав клеевой смеси

В качестве основного связующего материала клеевой смеси рекомендуется использовать эпоксидные смолы: Э-40, ЭД-5, ЭД-6, ЭД-16, ЭД-20 и другие смолы с аналогичными свойствами. Для отверждения смеси в неё входят отвердители, пластификаторы и наполнители. В качестве отвердителей обычно используют ангидриды и амины. В полевых условиях рекомендуется использовать амины, применяемые при холодном отверждении.

Пластификаторы (дибутилфталат и полиэфиры) улучшают пластичность композиции, снижают хрупкость паст и повышают ударную вязкость и прочность на изгиб и отдир. Оптимальное количество вводимого пластификатора 10-20 % от веса смолы.

Наполнители увеличивают объем, повышают теплостойкость, механическую прочность, снижают усадку пасты и приближают коэффициент технического расширения пасты к коэффициенту металлов. В качестве наполнителей могут применяться тонкоизмельченный графит, асбест, маршалит, окись алюминия, серной-кислый барий, слюдяная пыль, алюминиевая пудра, а для повышенной прочности - кварцевый песок, фарфоровая мука, титановые белила, железный порошок.

Отвердители в эпоксидную пасту следует вводить в строго определенном количестве. Отклонение от правильной дозировки, особенно аминов, ведет к ухудшению отверждённых паст.

Рецепты по приготовлению некоторых паст холодного отверждения приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 - Рецепты приготовления клеевой смеси с использованием эпоксидных смол

№ рецепта	Наименование компонентов	Состав	
		весовые части	%
1	Смола ЭД-6 или Э-40	100	58
	Дибутилфталат	20	11,4
	Графит	43	24,9
	Полиэтиленполиамин	10	5,7
2	Смола ЭД-6 или Э-40	100	34,5
	Дибутилфталат	20	7,0
	Железный порошок	160	55,0
	Полиэтиленполиамин	10	3,5
3	Эпоксидная шпатлевка Э-4020 или Э-4021	100	47,9
	Отвердитель № 1	8,5	4,2
	Асбест измельченный (пропитанный лаком этиноль)	100	47,9

Для подтверждения свойств отверждённых смесей изготавливают образцы (кубы) размерами не более 100х100х100, которые испытывают на срез. Количество образцов для испытания каждой смеси - не менее 3-х.

Приложение Б

Примеры расчёта

Б.1 Расчёт по прочности нормального сечения в ℓ/2

Исходные данные: -балка длиной 33 м ($\ell_р$ = 32, 4 м), типовой проект 3.503-12, вып.4 (Конструкция №10 по Приложению В);

-высота балки $h_б$ = 1,5 м;

-положение центра тяжести сжатой зоны x = 15 см.

Требуется усиление на долговременный период эксплуатации.

Для расчёта используем формулу (5) текста ОДМ при определении требуемого сечения КМ в $\ell_р/2$ и $\ell_р/3$ балки. Принято условно, что для указанных сечений фактическая несущая способность снижена на 2000 kH·м (≈25 %) в $\ell_р/2$ и 1000 kH·м (≈15 %) в $\ell_р/3$. Усиление осуществляется наклейкой лент шириной 25 см с прочностью на растяжение, установленной по результатам натурных испытаний. Расчётное сопротивление холста R_k = 2180 МПа (см. раздел 5 ОДМ).

Площадь сечения лент в $\ell_р/2$ балки определяется из выражения:

$$F_k \geq \frac{\Delta M}{R_k\left(h-\frac{x}{1,0}\right)} = \frac{2000\text{kH}\cdot\text{м}}{218000\left(1,5-0,15\right)\text{МПа}\cdot\text{м}} = 0,679$$

То-есть при ширине ленты 25 см и толщине 0,1 мм композитный материал должен иметь в $\ell_р/2$ - 3 слоя углеродных лент. Для сечения в $\ell_р/3$, где недостающий момент составляет 1000 kH·м, требуется суммарная площадь сечения лент в 2 раза меньше – то-есть 0,386 см^2, что соответствует наклейке двух слоёв лент. Учитывая необходимость предусматривать дополнительный участок ленты для её анкеровки и исключения отслоения (то-есть заводить ленту за точку теоретического обрыва) длины лент усиления в композиционном материале принимают равными (см. таблицу 4 текста ОДМ):

-1^{й} слой ленты – на длине $\ell_р/2$;

-2^{й} слой ленты – на длине $\frac{2}{3}\cdot\ell_р$;

-3^{й} слой ленты – на всю длину $\ell_р$.

Б.2 Расчёт усиления балки по второму предельному состоянию (по прогибам)

Исходные данные: –балка длиной 33 м ($\ell_р$ = 32, 4 м), типовой проект 3.503-12, вып.4 (Конструкция №10 по Приложению В);

–из-за повреждений (дефектов) снижена жёсткость балки

- фактический момент инерции сечения снизился с J = $2{,}018 \cdot 10^6$ см^4 до $J_ф = 1{,}82 \cdot 10^6$ см^4, то-есть на 10 %;

–высота балки $h_б$ = 1,5 м;

–положение центра тяжести сжатой зоны x = 8 см;

–модули упругости композита (E_k) и бетона ($E_б$) равны соответственно 200000 МПа и 30000 МПа ($\frac{E_k}{E_б} = \frac{20}{3}$)

Используя формулу (10) текста ОДМ получим:

$$F_k \geq \frac{3{,}0 \cdot \Delta J}{20 \cdot (h - x)^2} = \frac{3 \cdot (2{,}018 \cdot 10^6 - 1{,}82 \cdot 10^6}{20 \cdot (150 - 8)^2} = \frac{3 \cdot 1{,}198 \cdot 10^6}{20 \cdot (142)^2} \approx 0{,}9 \text{см}^2$$

При размерах ленты 300х0,1 мм (площадь 0,3 см^2) потребуется 3 слоя лент.

Должны быть применены ленты длиной:

-1 слой - 16,3 м ($\ell_р/2$);

-2 слой - 21,7 м ($\frac{2}{3} \cdot \ell_р$);

-3 слой - 32,4 м (соответствует расчётной длине пролётного строения);

Б.3 Расчёт по раскрытию трещин

Пример дан для усиленной балки с каркасной арматурой (см. рис. 3 текста ОДМ) по типовому проекту серии 3.503-14, вып. 1, инв. № 710/1 (конструкция №5 по приложению В), ℓ = 15 м. В середине пролёта балка усилена двумя холстами на высоту h_1^*= 20 см и h_2^* = 15 см.

Цель «примера» - проверить возможность усиления для пропуска транспортного средства, вызывающего усилия в балке, превышающие несущую способность на 10 %.

Радиус армирования определяем по формуле 7.100 Свода правил, принимая коэффициенты:

-β = 1,0;

-n – число арматурных элементов, увеличенное на количество плоскостей лент усиления Δn (для конструкции по рис. 3 Δn=6 – две плоскости снизу и по две плоскости с каждой стороны ребра) ;

-d – диаметр стержней армирования с эквивалентной площадью волокон (сечение одной плоскости ленты приводится к стержню диаметром 28 мм, применённых в балке).

В рассматриваемом примере эквивалентные площади определяются по плоскостям лент усиления – две боковые плоскости высотой 0,2 м; две боковые плоскости высотой 0,15 м; две нижние плоскости шириной 0,16 м (ширина стенки по низу):

-$h_1 = h^* = 0{,}2$ м; $f_{1k} = 20 \cdot 2 \cdot 0{,}01 \cdot \frac{E_k}{E_{ст}} = 20 \cdot 2 \cdot 0{,}01 \cdot \frac{230\ ГПа}{210\ ГПа} = 0{,}44$ см^2;

-$h_2 = 0{,}15$ м; $f_{2k} = 15 \cdot 2 \cdot 0{,}01 \cdot \frac{E_k}{E_{ст}} = 0{,}30$ см^2;

-$h_3 = 0{,}16$ м; $f_{3k} = 16 \cdot 0{,}01 \cdot \frac{E_k}{E_{ст}} = 0{,}35$ см^2.

Эквивалентные диаметры:

$d_1^* = 0{,}75$ см; $d_2^* = 0{,}62$ см; $d_3^* = 0{,}67$ см.

Количество эквивалентных диаметров – 2 на каждый диаметр.

Сумма произведений n (количество стержней) на d (диаметр стержня) равно (см. формулу 7.100 СП):

$\sum n \cdot d = 10 \cdot 2{,}8 + 2 \cdot (0{,}75 + 0{,}62 + 0{,}67) = 28 + 2 \cdot 2{,}04 = 32{,}08$ см, что превышает существующее значение $\sum n \cdot d$ на 11,5 %.

Радиус взаимодействия усиленной конструкции r =6·d= 6·2,8= 16,8 см

Высота балки, равная радиусу взаимодействия и высоте участка расположения арматуры балки, составляет ≈ 50 см.

Площадь зоны взаимодействия для нормального сечения будет равна:

$A_r = \frac{16+18}{2} \cdot 50 = 350$ см^2

где $\frac{16+18}{2}$ - средняя ширина стенки на участке r.

Радиус армирования (формула 7.100 СП) при β=0,85:

$R_r = \frac{A_r}{\sum \beta n \cdot d} = \frac{350}{32,08 \cdot 0,85} = \frac{350}{27,27} = 12,83$ см

Коэффициент раскрытия трещин $\psi = 1,5 \cdot \sqrt{R_r} = 5,37$ см

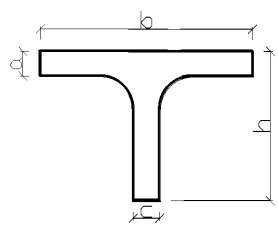
Ширина раскрытия трещин при напряжении в нижнем ряду арматуры от нормативной нагрузки σ= 200 МПа и модуле упругости 210 000 МПа будет равна:

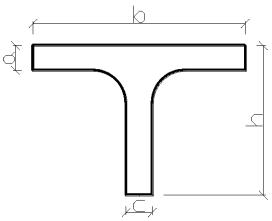
$a_{cr} = \frac{200 \cdot 5,37}{210000} = 0,005$ см, что меньше допустимой величины Δ = 0,03 см.

Требование по раскрытию трещин выдержано.

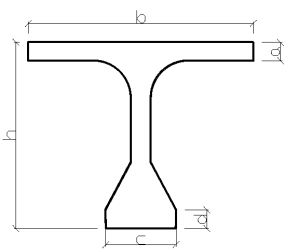
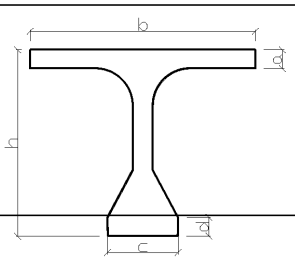
Приложение В

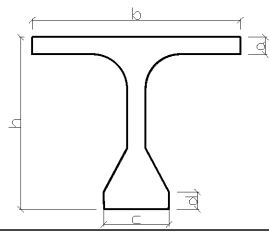
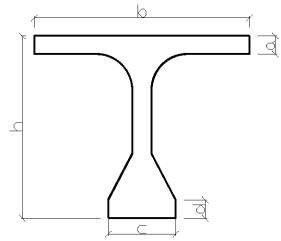
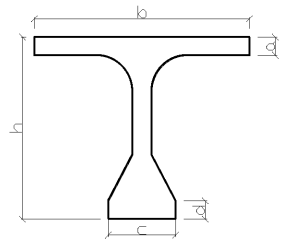
Перечень типовых проектов железобетонных балочных пролётных строений
(к п.6.1.2 текста ОДМ)

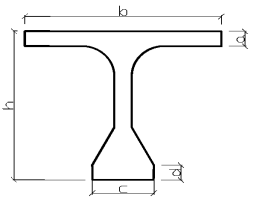
№ п\п	Номер типового проекта	Очертание балок и расчётная нагрузка	Основные размеры
1	*2*	*3*	*4*
1. Балки с обычной арматурой			
1	Союздорпроект, вып. 56 Д, 1962 г.		L=7.5 м J_x=1.19056×10^6 см^4 a=15 см b= 130 см c= 20.3 см h=70 см
2	Союздорпроект, вып. 56Д , 1962 г.		L=10 м J_x= 1.68591×10^6 см^4 a= 15 см b=130 см c=19 см h= 80 см
3	Союздорпроект, вып. 56 (дополнение), 1962 г.		L=12.5 м J_x= 1.97022×10^6 см^4 a=15 см b= 130 см c=18.4 см h=85 см
4	Союздорпроект, вып. 56 Д 1962 г.		L=15 м J_x= 2.92386×10^6 см^4 a= 15 см b=130 см c=16.4 см h=100 см

1	*2*	*3*	*4*
5	Союздорпроект. сер. 3.503-14, вып. 5, инв. № 710/5.		L=12; 15; 18 м J_x=2.1102×10^6 см^4 a=15 см b=130 см c=16 см h=90 см

№ п\п	Номер типового проекта	Очертание балок и расчётная нагрузка	Основные размеры

1	*2*	*3*	*4*
2. Балки с напрягаемой арматурой			
6	Союздорпроект. сер. 3.503-12. вып. 3. инв. № 384/27, 1969 – 1970г		L=24 м J_x=1.14794×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c=62 см d=18 см h=120 см
7	Союздорпроект. сер. 3.503-12. вып. 3. инв. № 384/27, 1969 – 1970г		L=33 м J_x=1.92162×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c= 62 см d=18 см h=150 см
8	Союздорпроект. сер. 3.503-12. вып. 3. инв. № 384/27, 1969 – 1970г		L=33 м J_x=1.61473×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c=62 см d=18 см h=140 см
9	Союздорпроект. сер. 3.503-12. вып 4. инв. № 384/28, 1969 - 1970 г.		L=24 м J_x=1.11077×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c=62 см d=15 см h=120 см

1	*2*	*3*	*4*
10	Союздорпроект. сер. 3.503-12. вып 4. инв. № 384/28, 1969 - 1970 г.		L=33 м J_x=2.01787×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c=62 см d=20 см h=150 см
11	Союздорпроект. сер. 3.503-12. вып 4. инв. № 384/28, 1969 - 1970 г.		L=42 м J_x=4.57068×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c=62 см d=20 см h=210 см
12	Союздорпроект. сер. 3.503-12. вып. 2. инв. 384/33, 1969 - 1970 г.		L=12; 15 м J_x=4.21581×10^6 см^4 a=15 см b=130 см c=62 см d=8 см h=90 см
13	Союздорпроект. сер. 501.5, инв. № 384/6.		L=12; 15 м J_x=5.00745×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c=62 см d=10 см h=90 см
14	Союздорпроект. сер. 501.5, инв. № 384/6.		L=18; 24 м J_x=1.11451×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c=62 см d=150 см h=120 см
15	Союздорпроект. сер. 501.5, инв. № 384/6.		L=33 м J_x=2.07912×10^6 см^4 a=15 см b=180 см c=62 см d=20 см h=150 см

1	2	3	4
16	Союздорпроект. Сер. 3.503-14 Выпуск 3 Инв. №710/3		L=18; 21 м J_x=6.96277×10^6 см^4 a=15 см b=130 см c=40 см d=16 см h=115 см

Библиография

[1] ОДН 218.0.032-2003 Временное руководство по определению грузоподъёмности мостовых сооружений на автомобильных дорогах

[2] Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. «Стройиздат», –М., 2004

[3] Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. ООО «Интеракво» (Чернявский В.Л., Хаютин Ю.Г.). –М., 2006

[4] СНиП 23-01-99* Строительная климатология

[5] Инструкция по организации движения и ограждению мест производства дорожных работ (ВСН 37-84)

[6] Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. НИИЖБ., -М., 2012

[7] СТО 2256-002-2011 Система внешнего армирования из полимерных композитов FibARM для ремонта и усиления строительных конструкций. ЗАО «Препрег СКМ», ЦНИИС, 2011

[8] ОДМ 218.4.001-2008 Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых

сооружений на автомобильных дорогах. –М., 2008

ОКС 93.040

Ключевые слова: мостовые сооружения, усиление, композиционные материалы, долговечность, контроль качества работ

Руководитель организации-разработчика
ФГУП «РОСДОРНИИ»
Генеральный директор К.В. Могильный

gost.e-ecolog.ru