

СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВПО СФГУПС

С.А. Бокарев

2014 г.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ В РАЗДЕЛ «КОМПОЗИЦИОННЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ» СП 35.13330.2011 «СВОД ПРАВИЛ. МОСТЫ  
И ТРУБЫ. АКТУАЛИЗИРОВАННАЯ РЕДАКЦИЯ  
СНиП 2.05.03-84\*»

Государственный контракт № 47/181 от 22.02.2013 г.

и дополнительное соглашение №1

(рег. № ФДА 47/152) от 19.03.2014г.

Новосибирск 2014

## Содержание

Введение .....	3
1 Область применения .....	3
2 Нормативные ссылки .....	3
3 Термины и определения .....	4
4 Обозначения и сокращения .....	4
5 Композиционные материалы .....	7
Основные расчетные требования.....	7
Материалы для усиления железобетонных конструкций .....	8
Расчет по предельным состояниям первой группы .....	11
Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента.....	12
Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента.....	15
Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента, на действие поперечной силы.....	16
Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента, на действие изгибающего момента .....	17
Расчет на выносливость.....	18
Расчет по предельным состояниям второй группы .....	19
Расчет по трещиностойкости .....	19
Расчет по образованию трещин .....	19
Расчет по раскрытию трещин .....	19
Определение прогибов и углов поворота .....	20
Конструктивные требования.....	22
Анкеровка материала усиления .....	24

## **Введение**

Настоящие предложения в свод правил СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*» разработаны с целью внедрения технологии усиления железобетонных пролетных строений железнодорожных и автодорожных мостов композиционными материалами на основе углеродного волокна. Применение указанной технологии позволит повысить уровень безопасности людей на сооружениях и сохранности материальных ценностей в соответствии с Федеральным законом от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Настоящие предложения содержат нормы по проектированию систем внешнего армирования существующих мостовых сооружений с применением современных полимерных композиционных материалов на основе углеродного волокна.

Работа выполнена авторским коллективом ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»: д-р техн. наук, проф. *С. А. Бокарев*; канд. техн. наук *А. А. Неровных*; инженеры *П. П. Бардаев*, *К. В. Кобелев*, *В. А. Слепец*, *А. И. Служаев*.

### **1 Область применения**

Настоящие предложения в СП 35.13330.2011 регламентируют правила проектирования систем внешнего армирования изгибаемых железобетонных элементов новых и реконструируемых старых автодорожных и железнодорожных мостов из современных полимерных композиционных материалов на основе углеродного волокна.

### **2 Нормативные ссылки**

В настоящих предложениях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 25.601-80

Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов).  
Метод испытания плоских образцов на растяжение

при нормальной, повышенной и пониженной температурах.

ГОСТ Р 54257-2010

Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования.

СП 35.13330.2011

Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*.

### 3 Термины и определения

В настоящих предложениях использованы следующие термины с соответствующими определениями:

**полимерный композиционный материал:** композиционный материал (образованный объемным сочетанием двух или более разнородных компонентов с четкой границей между ними), непрерывная фаза которого образована полимером.

**система внешнего армирования:** Комплексная система материалов, включающая ремонтный состав для восстановления поверхности, грунтовку, шпатлевку, холсты, пластины и эпоксидный клей для их укладки, защитные покрытия.

**холст:** Тканый материал на основе углеродных волокон с высоким модулем упругости, предназначенный для восстановления несущей способности конструкции.

**пластина:** Материал, представляющий собой углеродные волокна, объединенные полимерной матрицей, предназначенный для восстановления несущей способности конструкции.

### 4 Обозначения и сокращения

В настоящих предложениях использованы следующие сокращения и буквенные обозначения:

*Прочностные и деформативные характеристики материалов:*

$R_b$  – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию;

$R_s$  – расчетное сопротивление ненапрягаемой арматуры растяжению;

$R_{sc}$  – расчетное сопротивление ненапрягаемой арматуры сжатию;

- $R_p$  – расчетное сопротивление напрягаемой арматуры растяжению;
- $\sigma_{pc}$  – вводимое в расчет остаточное напряжение в напрягаемой арматуре, расположенной в сжатой зоне ( $\sigma_{pc} = R_{pc} - \sigma_{pc1}$ );
- $R_f$  – нормативное сопротивление полимерного композиционного материала растяжению;
- $R_{ft}$  – расчетное сопротивление полимерного композиционного материала растяжению при расчете по предельным состояниям первой группы;
- $R_{f,ser}$  – расчетное сопротивление полимерного композиционного материала растяжению при расчете по предельным состояниям второй группы;
- $E_{ft}$  – расчетное значение модуля упругости полимерного композиционного материала;
- $\sigma_{fu}$  – растягивающее напряжение в полимерном композиционном материале, расположенном на растянутой (нижней) грани элемента;
- $\sigma_{fu2}$  – растягивающее напряжение в полимерном композиционном материале, расположенном на боковых гранях элемента;
- $e_{b,ult}$  – предельная деформация бетона.

*Геометрические характеристики*

- $h$  – высота сечения;
- $h_0$  – рабочая высота сечения;
- $h'_f$  – приведенная высота сжатого пояса сечения;
- $x$  – высота сжатой зоны бетона;
- $b'_f$  – ширина сжатого пояса сечения;
- $b$  – ширина прямоугольного сечения, стенки ребра таврового, двутаврового и коробчатого сечений;
- $a_s$  – расстояние от растянутой грани сечения до центра тяжести растянутой рабочей арматуры;
- $a'_s$  – расстояние от сжатой грани сечения до центра тяжести сжатой рабочей арматуры;
- $A_s$  – площадь поперечного сечения всех стержней растянутой ненапрягаемой

- рабочей арматуры;
- $A'_s$  – площадь поперечного сечения всех стержней сжатой ненапрягаемой рабочей арматуры;
- $A_p$  – площадь поперечного сечения всех стержней растянутой напрягаемой рабочей арматуры;
- $A'_p$  – площадь поперечного сечения всех стержней сжатой напрягаемой рабочей арматуры;
- $c$  – длина проекции наклонного сечения элемента на его продольную ось;
- $s$  – шаг хомутов в пределах рассматриваемого наклонного сечения;
- $t_c$  – толщина полимерного композиционного материала;
- $b_c$  – ширина полосы полимерного композиционного материала;
- $d$  – высота заведения полимерного композиционного материала на боковые грани элемента для конструкции внешнего армирования в виде U-образной обоймы;
- $A_{f1}$  – площадь поперечного сечения полимерного композиционного материала, расположенного на растянутой грани элемента;
- $A_{f2}$  – площадь поперечного сечения полимерного композиционного материала, расположенного на боковых гранях элемента;
- $f_w$  – ширина полос внешнего поперечного армирования;
- $f_s$  – расстояние между осями (шаг) полос внешнего поперечного армирования.

## **5 Композиционные материалы**

### **Основные расчетные требования**

5.1 Для конструкций, в которых, с целью повышения их несущей способности, использованы полимерные композиционные материалы на основе углеродного волокна необходимо, соблюдать указания об обеспечении требуемой надежности конструкций от возникновения предельных состояний двух групп, предусмотренных ГОСТ Р 54257-2010.

5.2 Для этого, наряду с назначением соответствующих материалов и выполнением предусмотренных конструктивных требований, необходимо проведение указанных в настоящих нормах расчетов.

5.3 Система внешнего армирования на основе полимерных композиционных материалов должна проектироваться на восприятие растягивающих усилий с учетом совместности деформаций внешнего армирования и бетона конструкции.

5.4 В расчетах системы внешнего армирования принимается отсутствие взаимных смещений между стальной арматурой и бетоном, а также между наклеенным полимерным композиционным материалом и бетоном.

5.5 Для недопущения предельных состояний первой группы элементы конструкций мостов, усиленных полимерными композиционными материалами, должны быть рассчитаны в соответствии с указаниями настоящего раздела по прочности и на выносливость, при этом в расчетах на выносливость должны рассматриваться нагрузки и воздействия, возможные на стадии эксплуатации сооружений.

5.6 Расчеты усиленных конструкций по трещиностойкости совместно с конструктивными и другими требованиями должны обеспечивать коррозионную стойкость железобетонных мостов, а также препятствовать возникновению повреждений в них при совместном воздействии силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды.

5.7 Внутренние усилия в конструкции определяют на основе гипотезы плоских сечений.

5.8 Элементы железобетонных конструкций, усиленных полимерными композиционными материалами, в зависимости от назначения, условий работы и применяемой арматуры должны удовлетворять соответствующим категориям требований по трещиностойкости, которые предусматривают различную вероятность образования (появления) трещин по п.п. 7.95 – 7.111 СП 35.13330.2011. Предельные расчетные значения ширины их раскрытия следует определять согласно указаниям настоящего раздела.

5.9 Если в процессе монтажа системы внешнего армирования изменяются расчетные схемы или геометрические характеристики сечений, то усилия, напряжения и деформации в конструкции необходимо определять суммированием их для всех предшествующих стадий работы.

5.10 В усиленных полимерными композиционными материалами конструкциях с ненапрягаемой арматурой напряжения в бетоне и арматуре следует определять по правилам расчета упругих материалов без учета работы бетона растянутой зоны.

5.11 В составных по длине (высоте) конструкциях, усиленных полимерными композиционными материалами, следует производить проверки прочности и трещиностойкости в сечениях, совпадающих со стыками омоноличивания или пересекающих зону стыков в случае попадания композиционного материала в эти сечения.

5.12 Стыки должны обеспечивать передачу расчетных усилий без появления повреждений в материале усиления.

5.13 При проектировании системы внешнего армирования следует учитывать, что несущая способность неусиленной конструкции должна быть достаточна для восприятия постоянной и ограниченной временной нагрузки в случае повреждения системы внешнего армирования вследствие пожара, вандализма или других причин.

### **Материалы для усиления железобетонных конструкций**

5.14 Характеристики бетона и арматуры следует принимать в соответствии с рекомендациями п. 7.18-7.48 СП 35.13330.2011.

5.15 Основным прочностным показателем полимерных композиционных материалов является класс по прочности на растяжение. Класс полимерных композиционных материалов отвечает гарантированному (браковочному) значению физического предела прочности, устанавливаемому в соответствии с требованиями технических условий на полимерные композиционные материалы.

5.16 Дополнительные показатели качества полимерных композиционных материалов при проектировании усиления железобетонных конструкций мостов устанавливаются в соответствии с требованиями расчетов, условий эксплуатации и различных воздействий окружающей среды.

5.17 Нормативные значения прочности полимерных композиционных материалов гарантируют с обеспеченностью не менее 0,95, нормативные значения деформационных характеристик принимают равными их средним значениям.

5.18 Нормативные характеристики полимерных композиционных материалов (прочность на растяжение  $R_f$ , модуль упругости  $E_f$ , предельная деформация растяжения  $\epsilon_f$ ) определяются механическими испытаниями образцов по ГОСТ 25.601-80.

#### *Расчетные характеристики полимерных композиционных материалов*

5.19 Расчетные характеристики полимерных композиционных материалов определяются на базе нормативных характеристик с учетом коэффициента надежности по назначению  $\gamma_{f1}$ , коэффициента надежности по материалу  $\gamma_{f2}$  и коэффициента условия работы  $C_f$ , учитывающего влияние окружающей среды.

Расчетная прочность на растяжение полимерных композиционных материалов с учетом коэффициентов надежности условия работы определяется по формуле

$$R_{ft} = \gamma_{f1} \frac{C_f R_f}{\gamma_{f2}}, \quad (5.1)$$

#### *Коэффициенты надежности и условий работы*

5.20 Коэффициент надежности по назначению ( $\gamma_{f1}$ ) принимают равным 0,9 для железнодорожных и автодорожных мостов.

5.21 Коэффициенты надежности по материалам ( $\gamma_{f2}$ ) принимают для холстов равным 1,2, для пластин – 1,1.

5.22 Коэффициент условий работы ( $C_f$ ) для холстов принимают равным 0,8, для пластин – 0,85.

5.23 Расчетные сопротивления растяжению полимерных композиционных материалов для расчетов по первой и второй группам предельных состояний ( $R_{ft}$  и  $R_{fser}$ ), а также расчетное значение модуля упругости полимерных композиционных материалов ( $E_f$ ), следует принимать по таблицам 5.1 – 5.3 в зависимости от типа и класса используемого материала

Таблица 5.1

Тип холста	Условное обозначение	Классы холстов					
		С 2000	С 2200	С 2400	С 2600	С 2800	С 3000
НМ	$R_{ft}$ , МПа	1200	1300	1400	1600	-	-
	$R_{fser}$ , МПа	2000	2170	2330	2670	-	-
	$E_{fb}$ , ГПа	640	390	380	370	-	-
ASM	$R_{fb}$ , МПа	1200	1300	1400	1600	1700	1800
	$R_{fser}$ , МПа	2000	2170	2330	2670	2830	3000

Таблица 5.2

Тип холста	Условное обозначение	Классы холстов							
		С 3200	С 3400	С 3600	С 3800	С 4000	С 4200	С 4400	С 4600
HS	$R_{fb}$ , МПа	1900	2000	2200	2300	2400	2500	2600	2800
	$R_{fser}$ , МПа	3170	3330	3670	3830	4000	3170	4330	4670

Примечание: Для холстов типа ASM и HS расчетное значение модуля упругости равно  $E_f = 230$  ГПа.

Таблица 5.3

Тип ламели	Условное обозначение	Классы пластин								
		С 1400	С 1600	С 1800	С 2000	С 2200	С 2400	С 2600	С 2800	С 3000
Все типы	$R_{fb}$ , МПа	970	1110	1250	1390	1530	1670	1800	1950	2080
	$R_{fser}$ , МПа	1390	1600	1800	2000	2200	2400	2590	2800	2990
НМ	$E_{fb}$ , ГПа	350	330	310	290	270	250	-	-	-
ASM		-	-	-	140	160	180	200	-	-
HS		-	-	-	-	-	-	-	-	150

В таблицах 5.1 – 5.3: НМ – высокомодульные пластины или холсты с модулем упругости  $E_{ft} \geq 250$  ГПа; HS – высокопрочные пластины или холсты с расчетным сопротивлением растяжению  $R_{ft} \geq 1900$  МПа; ASM – среднемодульные пластины и холсты с модулем упругости  $E_{ft} < 250$  ГПа и расчетным сопротивлением растяжению  $R_{ft} < 1900$  МПа.

### Расчет по предельным состояниям первой группы

#### Общие указания

5.24 Предельные усилия в сечения усиленных элементов следует определять исходя из предпосылок, приведенных в п. 7.56 СП 35.13330.2011, а также считая связь между бетоном и полимерным композиционным материалом идеальной.

5.25 Полимерный композиционный материал, расположенный на растянутой грани усиливаемого элемента, следует вводить в расчет с напряжением

$$\sigma_{fu} = k_s \sqrt{\frac{R_b \cdot E_f \cdot b_f}{\Sigma t_f}} \leq 0,9R_{ft}, \quad (5.2)$$

где  $b_f$  – единичная ширина полосы материала усиления,  $b_f = 1$  мм;

$k_s$  – коэффициент учитывающий тип системы внешнего армирования.

5.26 Значение коэффициента  $k_s$  следует принимать в зависимости от типа полимерного композиционного материала и схемы его наклеивания на усиливаемый элемент.

Таблица 5.4

Тип полимерного композиционного материала и схема его наклеивания	$k_s$
Холст на нижней грани без закреплений	0,42
Холст на нижней грани с вертикальными или наклонными закреплениями по концам	0,49
Холст на нижней грани с несколькими закреплениями по всей длине или заведенный за место теоретического обрыва более чем на 3 расчетных длины заводки	0,63
Холст в виде U-образной обоймы без закреплений	0,60
Холст в виде U-образной обоймы с вертикальными или наклонными закреплениями	0,72
Пластины с закреплением холстом в виде вертикальных лент или U-образной обоймы	0,90

5.27 Если конструкция внешнего армирования выполненная в виде U-образной обоймы, полимерный композиционный материал, расположенный на боковых гранях усиливаемого элемента, следует вводить в расчет с напряжением

$$\sigma_{fu2} = \sigma_{fu} \frac{h - d - x}{h - x}. \quad (5.3)$$

5.28 Усиление элементов можно выполнять не прекращая эксплуатации сооружения, но с введением ограничений на пропуск транспорта. В этом случае следует учитывать действие временной нагрузки, обращающейся по нему в процессе выполнения работ по монтажу системы внешнего армирования. Предельные усилия ( $S_t$ ) для расчетных сечений при производстве работ без разгрузки элемента от собственного веса определяют по формуле

$$S_t = S + (S_f - S) \frac{S - S_p - S_k}{S}, \quad (5.4)$$

где  $S$  – предельное усилие (изгибающий момент или поперечная сила) в расчетном сечении без учета полимерного композиционного материала;

$S_f$  – предельное усилие в расчетном сечении с учетом полимерного композиционного материала, определяемое по формулам (5.5) – (5.14);

$S_k$  – усилие в расчетном сечении, возникающее от воздействия обращающейся по сооружению нагрузки;

$S_p$  – усилие в расчетном сечении, возникающее от воздействия постоянных нагрузок.

5.29 Если усиление элемента выполняют с разгрузкой от собственного веса, то необходимые проверки выполняют по требованиям п.п. 5.30-5.44.

### **Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента**

5.30 Расчет сечений, нормальных к продольной оси элемента, когда внешняя сила действует в плоскости оси симметрии сечения и внешнее армирование сосредоточено у перпендикулярных указанной плоскости граней элемента, должен производиться в зависимости от значения относительной высоты сжатой зоны  $\xi_{Rf} = x/h$ , определяемой из соответствующих условий равновесия. Значение  $\xi_{Rf}$  не должно превышать относительной высоты сжатой зоны бетона

$\xi_f$ , при которой предельное состояние бетона сжатой зоны наступает не ранее предельного состояния растянутой арматуры.

Значение  $\xi_f$  определяют по формуле

$$\xi_f = \frac{0,85 - 0,008R_b}{1 + \frac{\sigma_{fu}}{e_{b,ult}E_f}(0,227 - 0,007R_b)}, \quad (5.5)$$

где  $e_{b,ult}$  – предельная деформация бетона, принимаемая по указаниям СП 63.13330.2012.

При выполнении условия  $\xi_f \leq \xi_{Rf}$  в дальнейшем расчете используется высота сжатой зоны, определяемая из условий равновесия, в противном случае –  $x = \xi_{Rf}h_0$ .

5.31 Расчет прямоугольных сечений (рисунок 5.1) усиленных изгибаемых элементов следует производить из условия

$$M \leq R_b b' x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) + \sigma_{pc} A'_p (h_0 - a'_p) + \sigma_{fu} A_{f1} a_s + \sigma_{fu2} A_{f2} \left( a_s - \frac{d}{2} \right) + 0,5(\sigma_{fu} - \sigma_{fu2}) \left( a_s - \frac{1}{3}d \right) A_{f2}, \quad (5.6)$$

где  $M$  – изгибающий момент в сечении, возникающий от воздействия нагрузок.

При этом высоту сжатой зоны следует определять по формуле

$$R_b b x = R_p A_p + R_s A_s + \sigma_{fu} (A_{f1} + A_{f2}) - 0,5(\sigma_{fu} - \sigma_{fu2}) A_{f2} - R_{sc} A'_s - \sigma_{pc} A'_p. \quad (5.7)$$

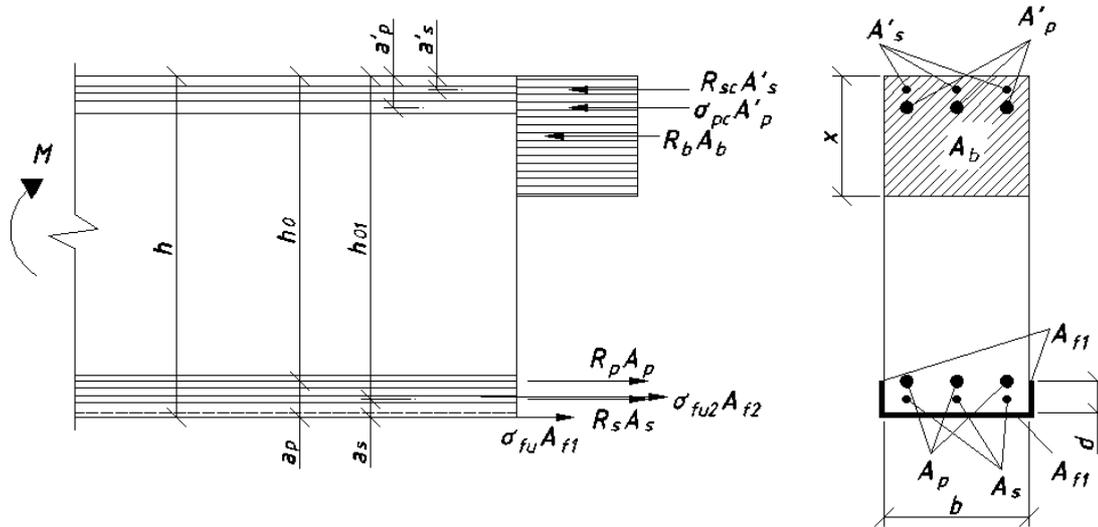


Рисунок 5.1 – Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого железобетонного элемента, усиленного полимерными композиционными материалами, при расчете его по прочности

5.32 Расчет тавровых и двутавровых сечений с плитой в сжатой зоне следует производить в зависимости от положения границы сжатой зоны:

- а) если граница сжатой зоны проходит в плите (рисунок 5.2,а), т.е. соблюдается условие

$$R_p A_p + R_s A_s + \sigma_{fu} (A_{f1} + A_{f2}) = R_b b'_f x + R_{sc} A'_s + \sigma_{pc} A'_p, \quad (5.8)$$

расчет производится как для прямоугольного сечения шириной  $b'_f$  в соответствии с 5.30;

- б) если граница сжатой зоны проходит в ребре (рисунок 5.2,б), т.е. условие (5.7) не соблюдается, расчет должен выполняться из условия

$$\begin{aligned} M \leq & R_b b'_f x (h_0 - 0,5x) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - 0,5h'_f) + \\ & R_{sc} A'_s (h_0 - a'_s) + \sigma_{pc} A'_p (h_0 - a'_p) + \sigma_{fu} A_{f1} a_s + \\ & + \sigma_{fu2} A_{f2} \left( a_s - \frac{d}{2} \right) + 0,5 (\sigma_{fu} - \sigma_{fu2}) \left( a_s - \frac{1}{3} d \right) A_{f2}, \end{aligned} \quad (5.9)$$

при этом высоту сжатой зоны следует определять по формуле

$$\begin{aligned} R_b b x + R_b (b'_f - b) h'_f = & R_p A_p + R_s A_s + \\ + \sigma_{fu} (A_{f1} + A_{f2}) - & 0,5 (\sigma_{fu} - \sigma_{fu2}) A_{f2} - R_{sc} A'_s - \sigma_{pc} A'_p \end{aligned} \quad (5.10)$$



**Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента, на действие поперечной силы**

5.34 Полимерный композиционный материал, волокна которого ориентированы параллельно продольной оси элемента при расчете по прочности на действие поперечной силы не учитывают.

5.35 Расчет по прочности сжатого бетона между наклонными трещинами выполняют по п. 7.77 СП 35.13330.2011.

5.36 Расчет наклонных сечений элементов, усиленных полимерными композиционными материалами, на действие поперечной силы (рисунок 5.3) следует производить из условий:

для элементов с ненапрягаемой арматурой

$$Q \leq \Sigma R_s A_{si} \sin \alpha + \Sigma R_{sw} A_{sw} + Q_b + Q_w^r + \Sigma \sigma_{fu} A_{fu} \sin \varphi + \Sigma \sigma_{fu} A_{fw}; \quad (5.11)$$

для элементов с напрягаемой арматурой

$$Q \leq \Sigma R_p A_{pi} \sin \alpha + \Sigma R_{pw} A_{pw} + \Sigma R_{sw} A_{sw} + Q_b + Q_w^r + \Sigma \sigma_{fu} A_{fu} \sin \varphi + \Sigma \sigma_{fu} A_{fw}, \quad (5.12)$$

где  $\Sigma R_s A_{si} \sin \alpha$ ,  $\Sigma R_{sw} A_{sw}$  – суммы проекций усилий всей пересекаемой ненапрягаемой (наклонной и нормальной к продольной оси элемента) арматуры;

$\Sigma R_p A_{pi} \sin \alpha$ ,  $\Sigma R_{pw} A_{pw}$  – то же в напрягаемой арматуре;

$\Sigma \sigma_{fu} A_{fu} \sin \varphi$ ,  $\Sigma \sigma_{fu} A_{fw}$  – то же, в полимерном композиционном материале.

Значения поперечного усилия, воспринимаемого горизонтальной арматурой ( $Q_w^r$ ) и передаваемого в расчете на бетон сжатой зоны над концом наклонного сечения ( $Q_b$ ) определяют по указаниям п 7.78 СП 35.13330.2011.

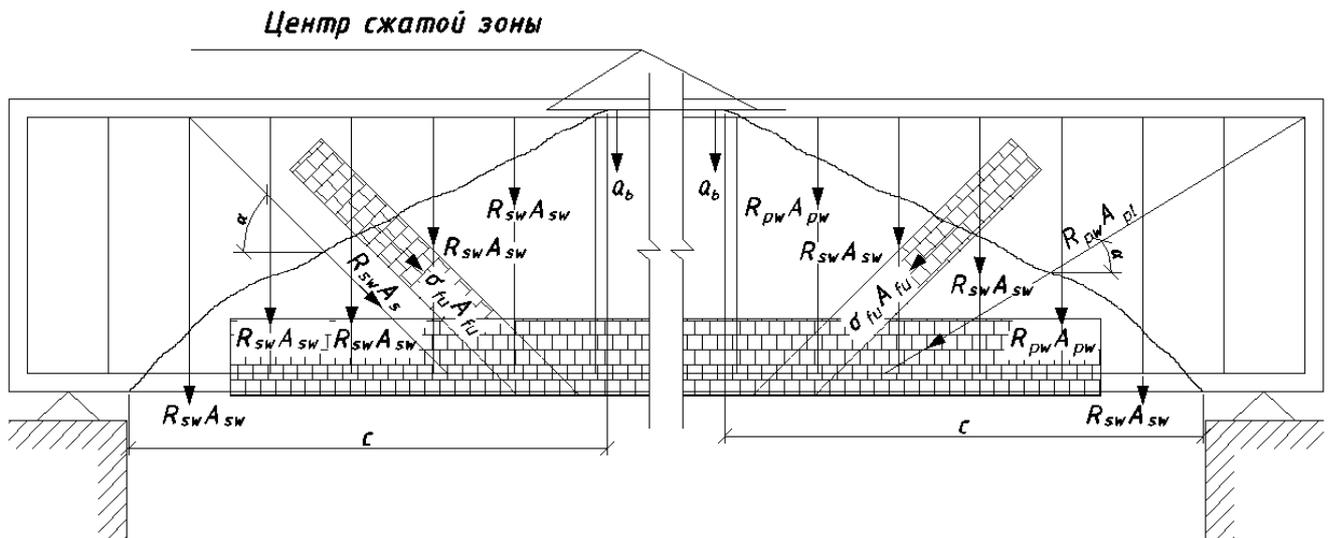


Рисунок 5.3 – Схема усилий в сечении, наклонном к продольной оси железобетонного элемента, усиленного полимерными композиционными материалами, при расчете его по прочности на действие поперечной силы

### Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента, на действие изгибающего момента

5.37 Расчет наклонных сечений элементов, усиленных полимерными композиционными материалами, на действие изгибающего момента (рисунок 5.4) следует производить, используя условия:

для элементов с ненапрягаемой арматурой:

$$M \leq R_s A_s z_s + \Sigma R_{sw} A_{sw} z_{sw} + \Sigma R_s A_{si} z_{si} + \sigma_{fu} A_{f1} z_{c1} + \sigma_{fu} A_{f2} z_{c2} + \Sigma \sigma_{fu} A_{fw} z_{cw} + \Sigma \sigma_{fu} A_{fi} z_{ci}, \quad (5.13)$$

для элементов с напрягаемой арматурой

$$M \leq R_p A_p z_p + \Sigma R_{pw} A_{pw} z_{pw} + \Sigma R_p A_{pi} z_{pi} + \Sigma R_{sw} A_{sw} z_{sw} + \sigma_{fu} A_{f1} z_{c1} + \sigma_{fu} A_{f2} z_{c2} + \Sigma \sigma_{fu} A_{fw} z_{cw} + \Sigma \sigma_{fu} A_{fi} z_{ci}, \quad (5.14)$$

где  $z_{sw}$ ,  $z_s$ ,  $z_{si}$  – расстояния от усилий в ненапрягаемой арматуре до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне бетона в сечении, для которого определяется момент;

$z_{pw}$ ,  $z_p$ ,  $z_{pi}$  – то же, для напрягаемой арматуры;

$z_{c1}$ ,  $z_{c2}$ ,  $z_{cw}$ ,  $z_{ci}$  – то же для полимерного композиционного материала; остальные обозначения приведены в п.п. 7.78 и 7.83 СП 35.13330.2011.

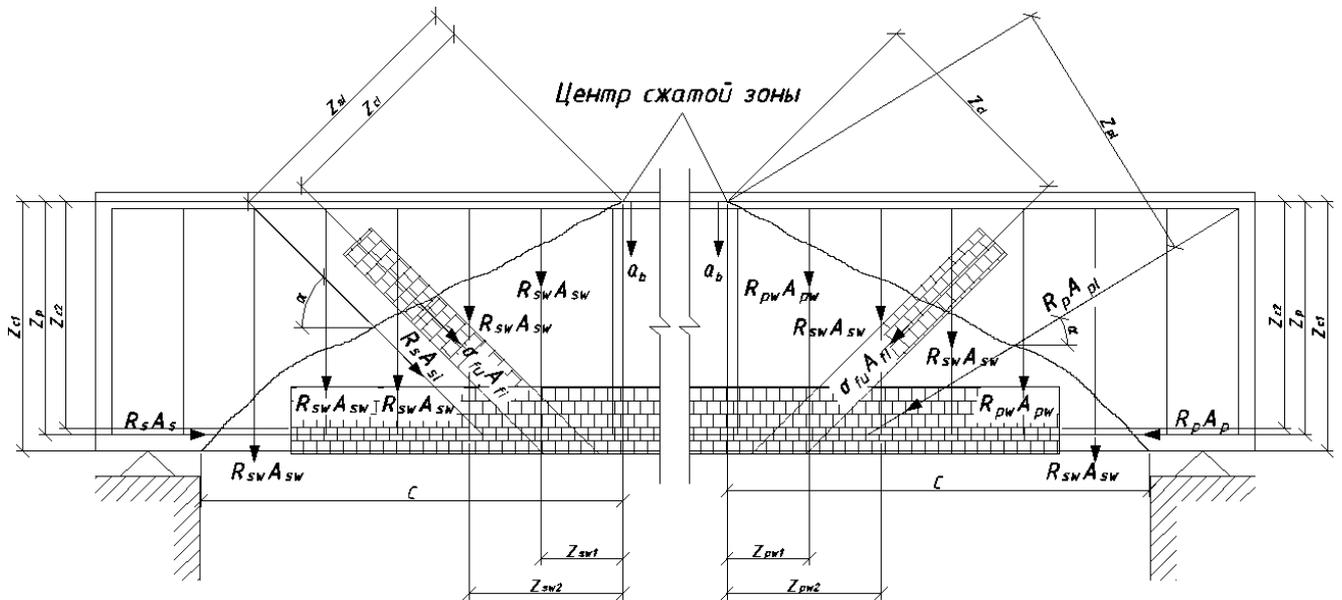


Рисунок 5.4 – Схема усилий в сечении, наклонном к продольной оси железобетонного элемента, усиленного полимерными композиционными материалами, при расчете его по прочности на действие изгибающего момента

### Расчет на выносливость

5.38 Расчет на выносливость изгибаемых элементов, усиленных полимерными композиционными материалами, производится по следующим формулам:

а) проверка по бетону

$$\frac{M}{I_{red}^y} \leq m_{b1} R_b, \quad (5.15)$$

б) проверка по арматуре

$$n'e_s \frac{M}{I_{red}^y} (h - x'_f - a_u) \leq m_{as1} R_s, \quad (5.16)$$

В формулах (5.12) и (5.13):

$I_{red}^y$  – момент инерции приведенного усиленного сечения относительно нейтральной оси без учета растянутой зоны бетона с введением отношения  $n'$  к площади всей арматуры и площади полимерного композиционного материала;

$x'_f$  – высота сжатой зоны бетона усиленного сечения, определяемая по формулам расчета упругого тела;

$e_s$  – коэффициент, учитывающий перераспределение напряжений между арматурой и композиционным материалом, принимаемый по таблице 5.5.

Значение коэффициента  $e_s$  зависит от соотношения площадей поперечного сечения полимерного композиционного материала ( $A_f$ ) и растянутой рабочей арматуры ( $A_s$ ).

Таблица 5.5

$A_f / A_s$	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,50	0,70
$e_s$	1,000	0,946	0,903	0,866	0,837	0,815	0,799	0,772	0,692

Примечание: Промежуточные значения коэффициента  $e_s$  определяются по интерполяции.

### Расчет по предельным состояниям второй группы

#### Расчет по трещиностойкости

5.39 Усиленные полимерными композиционными материалами железобетонные конструкции мостов должны удовлетворять категориям требований по трещиностойкости, приведенным в таблице 7.24 СП 35.13330.2011, а также рекомендациям п.п. 7.95–7.98 СП 35.13330.2011.

#### Расчет по образованию трещин

5.40 Расчет по образованию трещин, усиленных полимерными композиционными материалами железобетонных конструкций мостов, следует выполнять соблюдая рекомендациям п.п. 7.99–7.104 СП 35.13330.2011.

5.41 Расчет по образованию нормальных трещин к продольной оси усиленного полимерными композиционными материалами элемента, сводится к ограничению растягивающих напряжений, при этом условие трещиностойкости для стадии нормальной эксплуатации имеет вид

$$\sigma_{bg2} + \sigma_{bp2} + \sigma_v \leq k_2 R_{bt,ser}, \quad (5.17)$$

где  $\sigma_{bg2}$  – напряжения в бетоне от постоянных нагрузок на стадии эксплуатации;

$\sigma_{bp2}$  – напряжения в бетоне, вызванное усилиями в предварительно напрягаемой арматуре, с учетом всех потерь;

$\sigma_v$  – напряжения в бетоне от временной нагрузки;

$k_2 R_{bt,ser}$  – предельное значение растягивающих напряжений в бетоне определяемое по таблице 7.24 СП 35.13330.2011 в зависимости от категории требований по трещиностойкости.

Напряжения  $\sigma_{bg2}$ ,  $\sigma_{bp2}$  и  $\sigma_v$  определяются по формулам сопротивления упругих материалов. При определении геометрических характеристик расчетных сечений следует учитывать все стадии работы конструкции. В случае включения полимерного композиционного материала в работу в одну из стадий нагружения (на вторую часть постоянных нагрузок, на стадии эксплуатации; на временные нагрузки) при определении напряжений используют  $I'_{red}$  – момент инерции приведенного усиленного сечения относительно нейтральной оси без учета растянутой зоны бетона с введением отношения  $n'$  к площади всей арматуры и площади полимерного композиционного материала.

5.42 Расчет по образованию продольных трещин усиленного полимерными композиционными материалами элемента следует выполняться согласно рекомендациям п.п.7.99-7.104 СП35.13330.2011 без учета работы полимерного композиционного материала. При этом напряжения  $\sigma_{bx}$  в железобетонных конструкциях с ненапрягаемой арматурой ограничивают значением расчетного сопротивления  $R_{b,mc2}$ . В обжатой зоне бетона предварительно напряженных конструкций на стадии изготовления, хранения, транспортировки и монтажа эти напряжения не должны превышать  $R_{b,mc1}$ , а на стадии эксплуатации  $R_{b,mc2}$ .

### **Расчет по раскрытию трещин**

5.43 Ширину раскрытия нормальных и наклонных к продольной оси трещин усиленных полимерными композиционными материалами железобетонных элементов, проектируемых по категориям требований по трещиностойкости 2б, 3а, 3б и 3в, следует определять по формуле:

$$\alpha_{cr} = \frac{\sigma}{E} \psi_f < \Delta_{cr}, \quad (5.18)$$

где  $\sigma$  – растягивающее напряжение, равное для ненапрягаемой арматуры напряжению  $\sigma_s$  в наиболее растянутых (крайних) стержнях, определённое из условия (5.14) с учётом работы полимерного композиционного материала;

$E$  – модуль упругости для ненапрягаемой арматуры  $E_s$ ;

$\psi_f$  – коэффициент раскрытия трещин для усиленных полимерными композиционными материалами железобетонных элементов;

$\Delta_{cr}$  – предельное значение расчётной ширины раскрытия трещин, см, принимаемое по таблице 7.24 СП 35.1333.2011.

5.44 Коэффициент раскрытия трещин  $\psi_f$  усиленных полимерными композиционными материалами железобетонных элементов следует принимать в зависимости от радиуса армирования  $R_{rf}$ , см, равными:

0,35  $R_{rf}$  – при усилении полимерными композиционными материалами железобетонных элементов армированных гладкой стержневой арматурой;

$1,5\sqrt{R_{rf}}$  – при усилении полимерными композиционными материалами железобетонных элементов армированных стержневой арматурой периодического профиля.

5.45 Радиус армирования усиленных полимерными композиционными материалами железобетонных элементов следует определять по формуле

$$R_{rf} = \frac{A_r}{\sum \beta n d_a + \sum \beta_f n_f b_c}, \quad (5.19)$$

где  $A_r$  – площадь зоны взаимодействия для нормального сечения, принимаемая ограниченной наружным контуром сечения и радиусом взаимодействия  $r$  согласно п.п. 7.109 СП 35.13330.2011, см<sup>2</sup>;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий степень сцепления арматурных элементов с бетоном согласно таблице 7.26 СП 35.13330.2011;

$n$  – число арматурных элементов с одинаковым номинальным диаметром  $d$ ;

$d_a$  – диаметр одного стержня (включая случаи расположения стержней в группах), см;

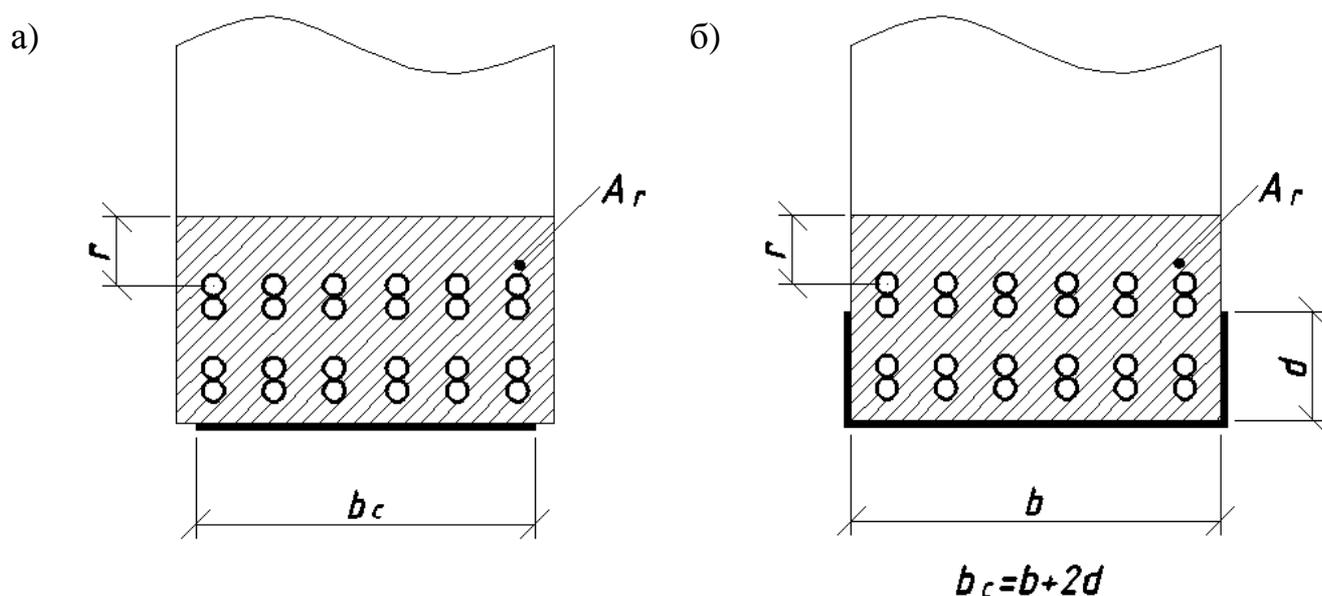
$\beta_f$  – коэффициент, учитывающий включение в работу последующих слоёв полимерного композиционного материала согласно таблице 5.6;

$n_f$  – число слоёв полимерного композиционного материала;

$b_c$  – ширина полосы полимерного композиционного материала, наклеенного на растянутую грань элемента (учитывая полки при усилении в виде U – образной обоймы), см.

Таблица 5.6

Количество слоев полимерного композиционного материала	1	2	3	4 и более
$\beta_f$	1,0	0,85	0,7	0,5



а – при расположении полимерного композиционного материала на только на растянутой грани; б – при расположении полимерного композиционного материала в виде U-образной обоймы

Рисунок 5.5 – Схема к определению зоны взаимодействия и расчётной ширины полимерного композиционного материала

### Определение прогибов и углов поворота

5.46 Прогибы, углы поворота и продольные перемещения, усиленных полимерными композиционными материалами железобетонных конструкций мостов, следует определять согласно рекомендациям п.п. 7.112–7.114 СП 35.13330.2011 без учета работы полимерного композиционного материала.

### Конструктивные требования

5.47 Усиление изгибаемых балочных железобетонных конструкций осуществляется наклейкой полимерного композиционного материала на нижнюю

поверхность ребра с направлением волокон вдоль оси усиливаемой конструкции с устройством вертикальных либо наклонных закреплений в приопорной зоне. Также возможна наклейка полимерного композиционного материала на нижнюю часть ребра в виде U-образной обоймы, при этом величина заводки на боковую грань при таком способе усиления не допускается более величины  $a_s$  или  $a_p$  (при наличии напрягаемой арматуры).

5.48 В случае повреждения гидроизоляции плиты балки рекомендуется выполнить ее восстановление прежде, чем выполнять работы по наклейке композиционного материала усиления.

5.49 Нормативная призмная прочность бетонного основания, на которое наклеивают полимерный композиционный материал, на сжатие должна быть не менее 15 МПа. Когезионная прочность основания должна быть не менее 2 МПа. Прочность бетона определяют одним из методов неразрушающего контроля в соответствии с требованиями действующих стандартов.

В случае недостаточной прочности поверхность бетона должна быть перепрофилирована ремонтным составом

5.50 Очистка поверхности должна производиться путем пескоструйной обработки или обработки металлическими щетками с последующей высоконапорной промывкой водой. Обработке подвергается только поверхностный слой бетона до обнажения на поверхности крупного заполнителя.

5.51 Трещины раскрытием менее 1,0 мм должны быть инъецированы низковязким эпоксидным составом при высоком давлении (150-160 бар). Трещины с раскрытием более 1,0 мм должны быть отремонтированы полимерцементным низковязким раствором при низком давлении.

5.52 Перед наклейкой усиливающих элементов бетонное основание должно быть выровнено. Допустимые отклонения от ровности поверхности не должны превышать 5 мм на базе 2 м или 1 мм на базе 0,3 м.

5.53 При обертывании конструкций (устройство хомутов или U-образной обоймы) с наружных углов должна быть снята фаска с катетом 2-3 см или сделано

скругление радиусом 2-3 см. На внутренних углах ремонтными смесями должна быть выполнена галтель радиусом не менее 20 см.

5.54 Допустимое значение радиуса загиба при наклейке ламелей заводского изготовления при усилении криволинейной поверхности элементов принимать по данным производителя композиционного материала.

5.55 Максимальное количество слоев усиления ограничивается расчетной силой сцепления с поверхностью основания. Первый слой продольной полосы пластины или холста следует заводить в зону, где действующие усилия не приводят к его отслоению, а каждый последующий слой следует обрезать не ближе 150 мм от обреза предыдущего слоя. Количество слоев приклейки рекомендуется принимать: для пластин – не более трех, холстов – не более 5.

5.56 Для усиления по наклонным сечениям в приопорной зоне могут быть установлены вертикальные, либо наклонные полосы полимерного композиционного материала. Эти полосы наклеиваются поверх продольной накладки нижнего пояса, чтобы обеспечить ее лучшую анкеровку. Вертикальные полосы выполняются из одного куска холста. Наклонные полосы выполняются из двух отрезков холста, стыкуемых по нижней поверхности ребра. Вначале наклеивается одна половина, осуществляется ее прикатка, после чего производится наклейка противоположенной части. Нахлест осуществляется понизу, на всю ширину ленты.

5.57 Ширину полос внешнего поперечного армирования  $f_w$  следует принимать не менее 50мм и не более 250мм, шаг наклейки полос поперечного армирования  $f_s$  – не менее  $f_w$  и не более меньшего значения из:  $h_0/2$ ;  $3f_w$ ;  $f_w + 200$  мм.

#### **Анкеровка материала усиления**

5.58 В местах концентрации напряжений – места изменения геометрических размеров или армирования поперечного сечения элемента, изменения ширины или толщины материала усиления – необходимо устраивать закрепление композиционного материала. Закрепление осуществляют заведением

материала усиления за точку его теоретического обрыва (сечение, в котором внешний изгибающий момент становится равным предельному без учета материала усиления) или устройством вертикальных или наклонных закреплений.

5.59 Длину заводки композиционного материала за точку теоретического обрыва определяют по формуле:

$$\omega = \frac{Q}{2q_{sw}} + 5,64 \sqrt{A_f R_s}, \quad (5.20)$$

где  $Q$  – поперечная сила в сечении, проходящем через точку теоретического обрыва материала усиления;

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

$$q_{sw} = \frac{R_s A_s}{s}. \quad (5.21)$$

5.60 Полимерный композиционный материал по длине наклейки должны выходить за пределы расчетной усиливаемой зоны не менее, чем на 100 мм (зона анкеровки) при прочности бетона основания на сжатие более 25 МПа, и на 150 мм при прочности бетона менее 25 МПа. При многослойной конструкции внешнего армирования каждый последующий слой должен быть короче предыдущего на длину анкеровки.

5.61 Для ограничения длины распространения отслоения, а также для увеличения анкеровки элементов усиления в концевых зонах целесообразно наряду с продольным армированием устраивать конструктивное поперечное армирование в виде вертикально расположенных полос холста. Расстояние между полосами не должно превышать 2,5 м. При производстве работ по усилению с устройством закреплений следует чередовать наклейку продольных и поперечных слоев таким образом, чтобы каждый последующий продольный слой был перехвачен соответствующей вертикально расположенной полосой.