

ЗАО «Холдинговая Компания «Композит»»

Система внешнего армирования FibArm.



# Структура ЗАО ХК «Композит»

## ЗАО «Холдинговая компания «Композит»

УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ

УПРАВЛЯЕМЫЕ ОБЩЕСТВА

УЧРЕДИТЕЛИ



КОМПОЗИТ  
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ



РОСАТОМ

КОМПОЗИТ  
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ



РОСАТОМ



РОСНАНО  
Российская корпорация нанотехнологий

КОМПОЗИТ  
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ

КОМПОЗИТ  
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ



РОСНАНО  
Российская корпорация нанотехнологий

КОМПОЗИТ  
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ



КОМПОЗИТ  
ХОЛДИНГОВАЯ КОМПАНИЯ

# Этапы развития применения СВА на основе углеволокна

Усиление при помощи стального листа на эпоксидном связующем (Fleming and King 1967)

Применение углеволокна для усиления бетонных и железобетонных конструкций с 1978 г.

Обеспечение дополнительной сейсмостойкости железобетонных колонн (Fardis and Khalili 1981, Katsumata et al. 1987). Масштабное применение в Японии после землетрясения 1995 года



# Зарубежные нормы

1. Руководство по проектированию усиления железобетонных конструкций путем внешнего армирования фиброармированными пластиками (Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. ACI 440.2R-08. American Concrete Institute).
2. FIB bulletin 14. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. July 2001. CNR-DT 200/2004.
3. Руководство по проектированию усиления конструкций путем внешнего армирования фиброармированными пластиками. (CNR-DT 200/2004. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures. – Rome, 2004);



# ACI 440.2R-02

## «1.1—Область применения и границы

Ниже представлены рекомендации по подбору, проектированию и монтажу наружных FRP-систем, предназначенных для повышения прочности бетонных конструкций. Кроме того, в документе содержится описание характеристик материала, конструкций, методик монтажа, контроля качества и технического обслуживания таких систем. Приведенные сведения помогут подобрать FRP-систему для повышения прочности и жесткости железобетонных балок, увеличения пластичности колонн и пр.

В основу документа легли результаты исследований, проведенных за последние 20 лет, а также аналитической работы, экспериментов и практического применения армирующих FRP-систем. Методики проектирования, составленные по имеющимся сведениям, приведены с **большим запасом**. Следует, однако, отметить, что **в большинстве случаев детальная проработка и проверка методик не проводились**. Предполагается, что в дальнейшем методики будут переработаны, а их точность повысится. На сегодняшний день важно четко указать те аспекты, где требуются дальнейшие исследования.»



# ACI 440.2R-08

«Данный документ содержит рекомендации по подбору, проектированию, и монтаж композитных систем для внешнего армирования железобетонных конструкций. Представлены сведения о свойствах материалов, проектирование, монтаж, контроль качества, обслуживание FRP-систем, используемых в качестве внешнего армирования. Эта информация может быть использована для выбора FRP-систем, предназначенных для повышения прочности и жесткости железобетонных балок или несущей способности колонн и других элементов. Основой для данного документа служит значительный объем проведенных исследований. Исследования, проведенные за последние 25 лет, включая аналитические исследования, экспериментальные работы и мониторинг объектов с примененной композитной системой усиления.... Важно особо обратить внимание , что значительное количество тем, не вошло в данный документ и по-прежнему требуют исследования..»



# Действующие Российские документы

- **Рекомендации по расчету усиления железобетонных конструкций системой внешнего армирования и полимерных композитов FibARM. Разработан ЗАО «ХК «Композит». Утвержден НИЦ Строительство;**
- **Отраслевая дорожная методика ОДМ 218.3.027-2013 «Рекомендации по применению тканевых композиционных материалов при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений». Утверждена РосАвтодором;**
- СТО «Система внешнего армирования из полимерных композитов для ремонта и усиления строительных конструкций» СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ», на стадии утверждения;
- Регламент по ремонту железобетонных конструкций подземных коллекторов для инженерных коммуникаций. Москва 2009. Утвержден ГУП «Москоллектор», правительством города Москвы;
- Цены на углеродные материалы производства ЗАО «Препрег –СКМ» внесены в Государственные сметные нормативы МинРегиона "Федеральные сметные цены на материалы, изделия и конструкции, применяемые в строительстве" (ФССЦ 81-01-2001-И5);
- Совместно с МосОблГосЭкспертизой разработаны и утверждены единичные расценки на выполнение работ по усилению системами FibARM;
- Материалы FibARM внесены в Московский Территориальный Строительный Каталог.



# Рекомендации НИИЖБ, СТО

## 1 Область применения

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

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



# ОДМ 218.3.027-2013

## 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.



# Расчетное сопротивление по ACI 440.2R-02

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

Ограничение деформаций

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left( \frac{h-c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \kappa_m \varepsilon_{fu}$$

Проверка отслаивания

$$\kappa_m = \begin{cases} \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{360\,000} \right) \leq 0,90 & \text{для } nE_f t_f \leq 180\,000 \\ \frac{1}{60\varepsilon_{fu}} \left( \frac{90\,000}{nE_f t_f} \right) \leq 0,90 & \text{для } nE_f t_f > 180\,000 \end{cases}$$



# Расчетное сопротивление по ACI 440.2R-02

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}}$$

Условия среды воздействия	Тип волокна и смолы	Коэффициент Надежности CE
Внутреннее расположение	Углерод/эпоксидная смола	0,95
	Стекло/эпоксидная смола	0,75
	Арамид/эпоксидная смола	0,85
Внешнее расположение (мосты, пирсы и открытые автостоянки)	Углерод/эпоксидная смола	0,85
	Стекло/эпоксидная смола	0,65
	Арамид/эпоксидная смола	0,75
Агрессивная среда (химические заводы и очистные сооружения)	Углерод/эпоксидная смола	0,85
	Стекло/эпоксидная смола	0,50
	Арамид/эпоксидная смола	0,70



# Расчетное сопротивление по АСІ 440.2R-02

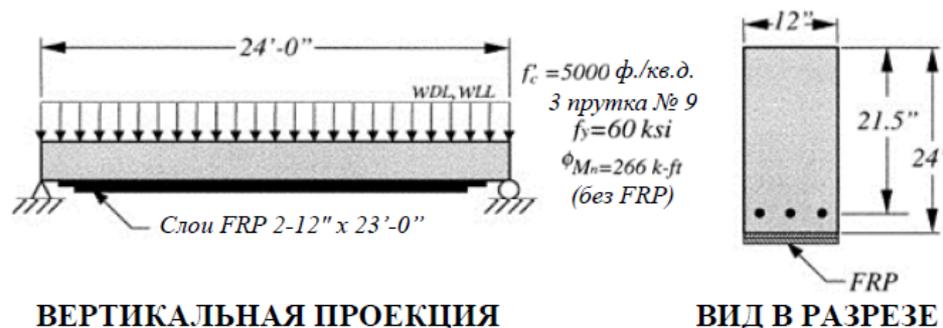


Рис. 14.1—Схематическое представление идеальной свободно опертой балки с внешним усилением FRP.

Length of the beam $l$	24 ft	7.32 m
Width of the beam $w$	12 in.	305 mm
$d$	21.5 in.	546 mm
$h$	24 in.	609.6 mm
$f'_c$	5000 psi	34.5 N/mm <sup>2</sup>
$f_y$	60 ksi	414 N/mm <sup>2</sup>
$\phi M_n$ without FRP	266 k-ft	361 kN-m
Bars	No. 9	$\phi = 28.6 \text{ mm}$

# Расчетное сопротивление по АСІ 440.2R-02

$$f_{fu} = 0.85 \cdot 3600 \text{ МПа} = 3060 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon_{fu} = 0.85 \cdot 0,015 = 0,0128 \text{ мм/мм}$$

$$\varepsilon_{bi} = 0.00061 \text{ мм/мм}$$

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left( \frac{h-c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \kappa_m \varepsilon_{fu}$$

Количество о слоев	$nE_f t$	$\kappa_m$	$\varepsilon_{fe}$	$\kappa_m \varepsilon_{fu}$	$f_{fe}$
1	72030	0.9	0.0133	0.011	2822.4
2	144060	0.78	0.0133	0.01	2449.3
3	216090	0.54	0.0133	0.007	1700.68
4	288120	0.41	0.0133	0.005	1275.51
5	360150	0.33	0.0133	0.004	1020.41



# Расчетное сопротивление по ACI 440.2R-08

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

$$\varepsilon_{fd} = 0.083 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_f t_f}} \leq 0.9 \varepsilon_{fu} \quad \text{in in.-lb units}$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left( \frac{d_f - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd} \quad \varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_f t_f}} \leq 0.9 \varepsilon_{fu} \quad \text{in SI units}$$

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^*$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

- Те же, что и в ACI 440.2R-02

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}}$$



# Расчетное сопротивление по АСІ 440.2R-08

$$f_{fu} = 0.85 \cdot 3600 \text{ МПа} = 3060 \text{ МПа}$$

$$\varepsilon_{fu} = 0.85 \cdot 0,015 = 0,0128 \text{ мм/мм}$$

$$\varepsilon_{bi} = 0.00061 \text{ мм/мм}$$

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$$

$$\varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_f t_f}} \leq 0.9 \varepsilon_{fu}$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left( \frac{d_f - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$$

Количество во слоев	$nE_f t$	$\varepsilon_{fd}$	$0.9\varepsilon_{fu}$	$\varepsilon_{fe}$	$f_{fe}$
1	72030	0.008973	0.01152	0.0133	2198.38
2	144060	0.006345	0.01152	0.0133	1554.489
3	216090	0.005181	0.01152	0.0133	1269.235
4	288120	0.004486	0.01152	0.0133	1099.19
5	360150	0.004013	0.01152	0.0133	983.1455



# Расчетное сопротивление по рекомендации НИИЖБ, СТО

$$R_{fu} = E_f \varepsilon_{fu}$$

Проверка отслаивания

$$\varepsilon_{fu} = k_m \varepsilon_{ft}$$

при  $nE_f t_f \leq 180000$

$$k_m = \frac{1}{60\varepsilon_f} \left( 1 - \frac{nE_f t_f}{360000} \right) \leq 0,9;$$

при  $nE_f t_f \geq 180000$

$$k_m = \frac{1}{60\varepsilon_f} \left( \frac{90000}{nE_f t_f} \right) \leq 0,9;$$



# Расчетное сопротивление по рекомендации НИИЖБ, СТО

$$\varepsilon_{ft} = \frac{R_{ft}}{E_f}$$

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

0,9 – для внутренних помещений;

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

Значения коэффициента надежности  $\gamma_f$  принимаются равными:

- при расчете по предельным состояниям первой группы - 1,1;

- при расчете по предельным состояниям второй группы - 1.0.

$$R_{ft} = \frac{C_E}{\gamma_f} R_f$$



# Расчетное сопротивление по рекомендации НИИЖБ, СТО

Определяем предельную деформацию СВА:

$$\varepsilon_f = \frac{R_f}{E_f} = \frac{3600}{245000} = 0.0147$$

Расчетная деформация растяжения:

$$\varepsilon_{ft} = \frac{R_{ft}}{E_f} = \frac{0.8 \cdot 3600}{1.2 \cdot 245000} = 0.0098$$

$$R_{fu} = E_f \varepsilon_{fu}$$

$$\varepsilon_{fu} = k_m \varepsilon_{ft}$$

Количество слоев	$nE_{ft}$	$k_m$	$\varepsilon_{fe}$	$R_{fu}$
1	72030	0.9	0.00882	2160.9
2	144060	0.781033	0.007654	1875.26
3	216090	0.542309	0.005315	1302.083
4	288120	0.406732	0.003986	976.5625
5	360150	0.325385	0.003189	781.25



# Расчетное сопротивление по ОДМ 218.3.027-2013

$$R_k = \frac{R_f \cdot m}{\gamma_{f2}} \cdot \gamma_{f1}$$

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;

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

$\gamma_{f2}$  – 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.



# Расчетное сопротивление по ОДМ 218.3.027-2013

$$R_k = \frac{R_f \cdot m}{\gamma_{f2}} \cdot \gamma_{f1} = \frac{3600 \cdot 0,8}{1,2} \cdot 0,95 = 2280 \text{ МПа}$$

1 слой

2 слоя

n слоёв

100 слоёв



# Сопоставление расчетных сопротивлений

Количество слоёв	АСІ 440/2R-02	АСІ 440/2R-08	СТО, Рекомендации НИИЖБ	ОДМ	Минимальное значение, МПа	Максимальное значение, МПа	Разница %
1	2822.4	2198.38	2160.9	2280	2160.9	2822.4	23.4
2	2449.319	1554.489	1875.26		1554.4	2449.3	36.5
3	1700.68	1269.235	1302.083		1269.2	1700.7	25.3
4	1275.51	1099.19	976.5625		976.5	1275.5	23.4
5	1020.408	983.1455	781.25		781.25	1020.4	23.4



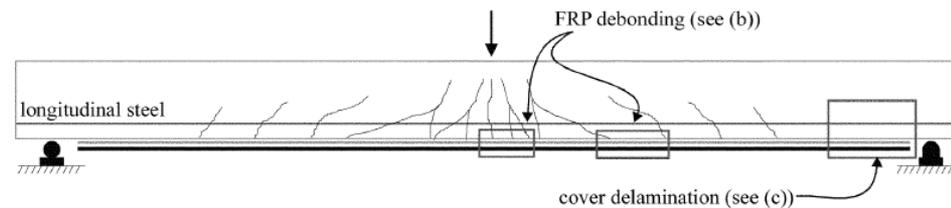
# Принципы расчета (изгибаемые элементы)

**Тип 1.** Разрушение вследствие отслоения края композитного материала.

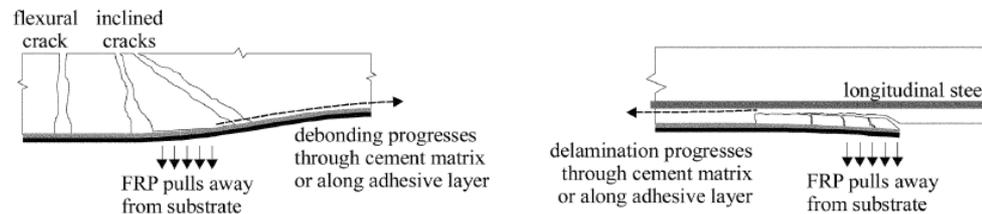
**Тип 2.** Разрушение вследствие отслоения композитного материала между вертикальными трещинами от действия изгибающего момента в середине пролета.

**Тип 3.** Разрушение вследствие отслоения композитного материала в зоне образования наклонных трещин от действия поперечной силы.

**Тип 4.** Разрушение вследствие отслоения композитного материала из-за неправильного соблюдения технологии наклейки композитных материалов.



(a) Behavior of flexural member having bonded reinforcement on soffit



# Расчет нормальных сечений по ACI 440.2R

$$\phi M_n \geq M_u$$

ACI 440.2R-02

$$\phi = \begin{cases} 0,90 & \text{для } \varepsilon_s \geq 0,005 \\ 0,70 + \frac{0,20(\varepsilon_s - \varepsilon_{sy})}{-0,005 - \varepsilon_{sy}} & \text{для } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s < 0,005 \\ 0,70 & \text{для } \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \end{cases}$$

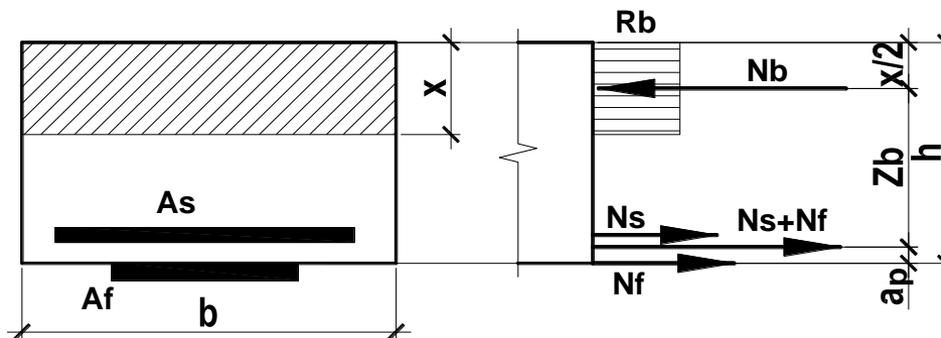
ACI 440.2R-08

$$\phi = \begin{cases} 0.90 & \text{for } \varepsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}} & \text{for } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{sy} \end{cases}$$

$$M_n = A_s f_s \left( d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + \psi_f A_f f_{fe} \left( h - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$



# Расчет нормальных сечений по СТО, рекомендации



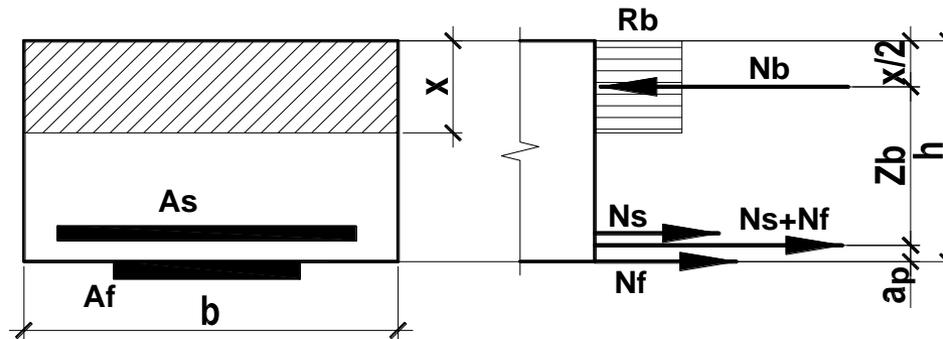
$$M \leq M_{ult}$$

$$M_{ult} = N_b z_b$$

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

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

# Расчет нормальных сечений по СТО, рекомендации



$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_o - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_o - a') + R_f \cdot A_f \cdot a$$

# Расчет изгибаемых элементов (нормальные сечения) по ОДМ 218.3.027-2013

Расчет ведут по недостающему моменту внутренней пары (недостающей несущей способности  $\Delta M$ ).

Величина  $\Delta M$  компенсируется усилием, возникающим в КМ ( $N_k$ ) при изгибе балки, то-есть:

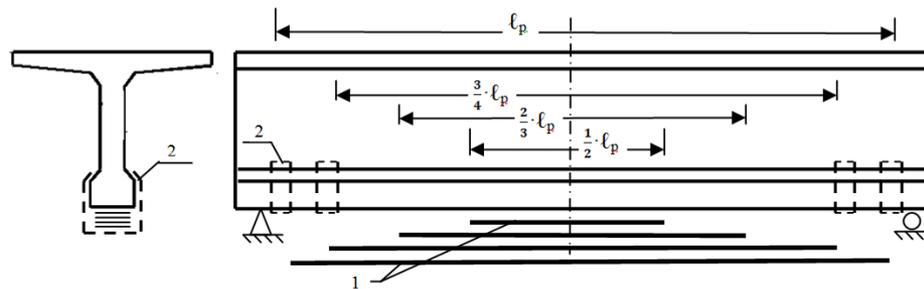
$$\Delta M \leq N_k \cdot h_{\text{вп}} = N_k \cdot (h - x') \quad (2)$$

где  $h_{\text{вп}}$  – 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.

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

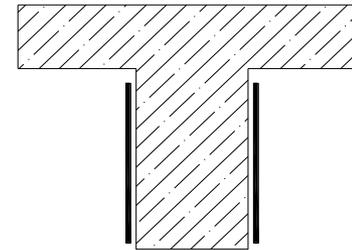
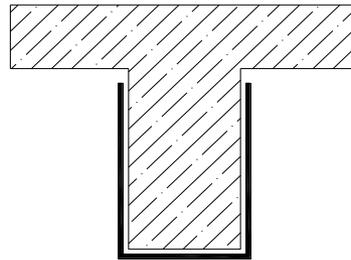
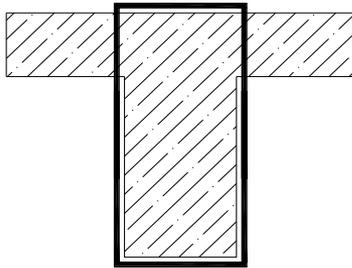


# Расчет наклонных сечений по ACI 440.2R

Общее обертывание

«П»-образное наклеивание

Наклеивание с 2-х сторон



$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi V_n \geq \phi (V_c + V_s + \phi_f V_f)$$

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f}$$

$\psi_f = 0,95$	Полностью обернутые элементы
$\psi_f = 0,85$	Элементы, обернутые с трех сторон или с подсоединением к двум сторонам

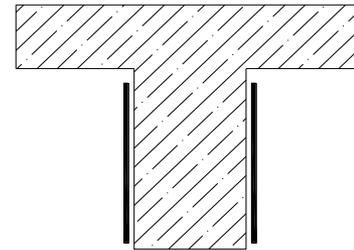
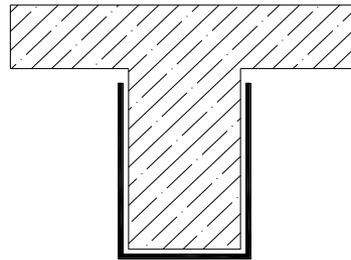
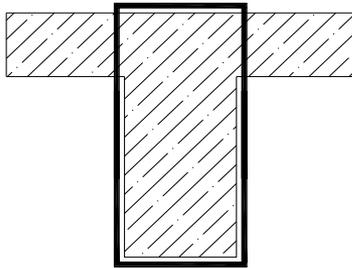


# Расчет наклонных сечений по СТО, рекомендациям НИИЖБ

Общее обертывание

«П»-образное наклеивание

Наклеивание с 2-х сторон



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

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

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



# Расчет изгибаемых элементов (наклонные сечения) по ОДМ 218.3.027-2013

$F_k \geq \frac{\Delta M}{\sum \sigma_k \cdot z_i}$  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.

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

$F_k \geq \frac{\Delta Q}{\sum \sigma_k \cdot \sin \alpha}$  где  $\alpha$  – угол наклона стержней (пучков) к продольной оси балки в месте пересечения наклонного сечения (см. рисунки 4 и 5).

## Проверка по главным растягивающим напряжениям

где  $Q$  – поперечная сила;

$b$  – толщина стенки балки;

$h^{**}$  – высота ребра балки;

$E_k, E_b$  – модули упругости холстов (лент) и бетона;

$R_{bt}$  – расчётное сопротивление бетона осевому растяжению.

$$\sigma_{mt} = \frac{Q}{b \cdot h^{**} + F_k \cdot \frac{E_k}{E_b}} \leq 2,5 R_{bt},$$



# Расчет сжатых элементов по ACI 440.2R-02

$$f'_{cc} = f'_c \left[ 2.25 \sqrt{1 + 7.9 \frac{f_l}{f'_c}} - 2 \frac{f_l}{f'_c} - 1.25 \right]$$

$$R_{bc} = R_b \left[ 2.25 \sqrt{1 + 7.9 \frac{\sigma_R}{R_b}} - 2 \frac{\sigma_R}{R_b} - 1.25 \right]$$

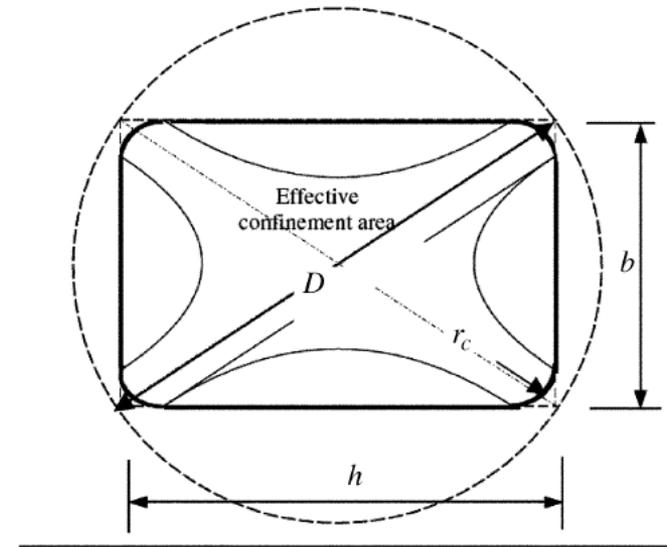


# Расчет сжатых элементов по ACI 440.2R-08

$$f'_{cc} = f'_c = \psi_f 3.3 \kappa_a f_l$$

$$f_l = \frac{2E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{D}$$

$$\kappa_a = \frac{A_e}{A_c} \left( \frac{b}{h} \right)^2$$



# Расчет сжатых элементов по СТО, рекомендациям НИИЖБ

$$R_{bc} = R_b \left[ 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{\sigma_R}{R_b}} - 2 \frac{\sigma_R}{R_b} - 1.254 \right]$$

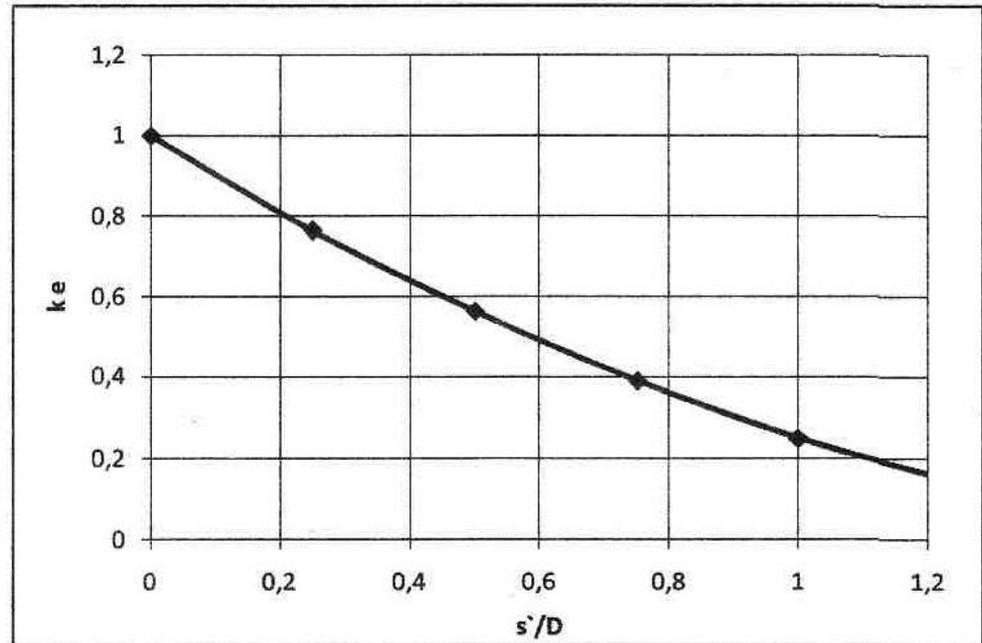
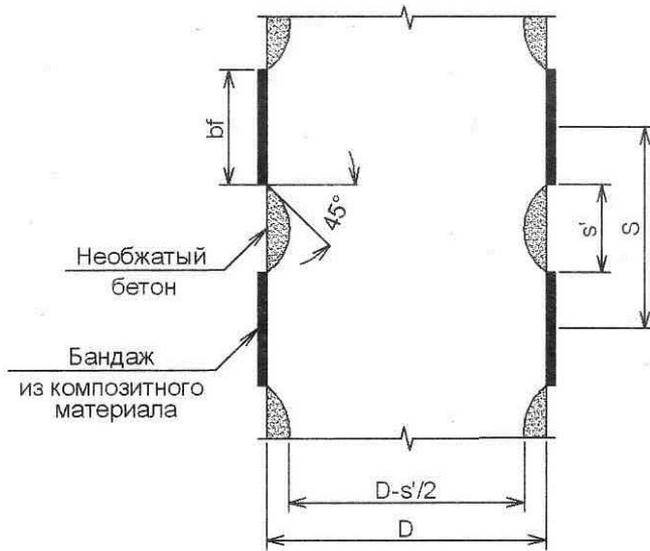
$$\sigma_R = \frac{k_a \rho_f \varepsilon_{fe} E_f}{2}$$

$\rho_f$  – отношение площади поперечного сечения обоймы к площади поперечного сечения колонны;  
 $k_a$  – коэффициент эффективности обоймы, принимаемый  $k_a=1,0$  для колонн круглого сечения.  
Для колонн прямоугольного сечения определяется по формуле:

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



# Расчет сжатых элементов по СТО, рекомендациям НИИЖБ



# Расчет сжатых элементов по ОДМ 218.3.027-2013

$$R_k \cdot F_k \geq \left(1 + \frac{\Delta Q}{Q}\right) \cdot R_a^x \cdot F_a^x \cdot \frac{m_k}{m_Q}$$

где:  $\Delta Q$  – 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 ( $m_Q = 0,8 \div 0,85$ );

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

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

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

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

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



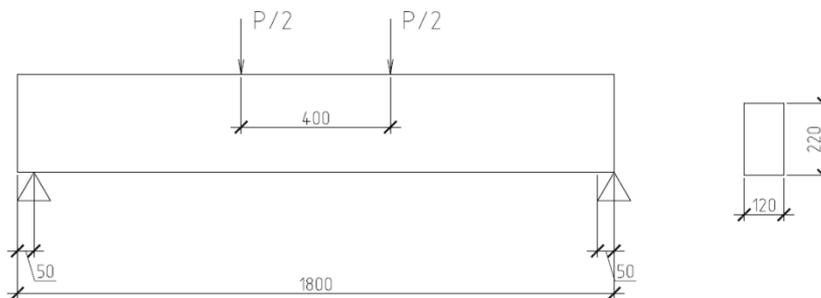
# Расчет сжатых элементов по ОДМ 218.3.027-2013

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  $< 10$  мм добавляют один слой холста (ленты) к тому, что требуется по расчёту. Углы прямоугольных элементов скругляют.



# Экспериментальные исследования на балках

Исследование на железобетонных перемычках типа ЗПБ 18-37 по серии 1.038.1-1, выполненных из бетона класса В25 (М350). Перемычки имеют размеры сечения 120мм (ширина) на 220мм (высота) и длину 1,8м. Армирование в нижней зоне: два стержня из арматуры класса АШ диаметром 12мм; в верхней зоне один стержень из арматуры класса АIII диаметром 6мм.



# Экспериментальные исследования на балках

№	Типа армирующего материала	Обозначение армирующего материала	Схема усиления	Тип и метод нанесения адгезива
1	Без усиления	Контрольный образец	Нет усиления	Нет усиления
2	Углеродные ленты	<u>FibARM Tape 530/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по концам продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «мокрым» методом</u>
3	Углеродные ленты	<u>FibARM Tape 530/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «мокрым» методом</u>
4	Углеродные ленты	<u>FibARM Tape 530/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «сухим» методом</u>



# Экспериментальные исследования на балках

№	Типа армирующего материала	Обозначение армирующего материала	Схема усиления	Тип и метод нанесения адгезива
5	Углеродные ленты	<u>FibARM Tape 230/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по концам продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «сухим» методом</u>
6	Углеродные ленты	<u>FibARM Tape 230/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «сухим» методом</u>
7	Углеродные ленты	<u>FibARM Tape 230/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «мокрым» методом</u>



# Экспериментальные исследования на балках

№	Типа армирующего материала	Обозначение армирующего материала	Схема усиления	Тип и метод нанесения адгезива
8	Нетканые углеродные холсты	<u>FibARM Spread Tape – 230/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «сухим» методом</u>
9	Нетканые углеродные холсты	<u>FibARM Spread Tape – 230/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «мокрым» методом</u>
10	Углеродные сетки	<u>FibARM Grid 600/1000</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Цементно-латексный состав <u>Planitop HDM, наносимый вручную</u>



# Экспериментальные исследования на балках

№	Типа армирующего материала	Обозначение армирующего материала	Схема усиления	Тип и метод нанесения адгезива
11	Углеродные сетки	<u>FibARM Grid 600/1000</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	<u>Полимер-цементный состав приготовления на площадке, наносимый методом «набрызга»</u>
12	Углеродные сетки	<u>FibARM Grid 230 /1200</u>	Продольный холст снизу, <u>хомуты по всей длине продольного холста</u>	Цементно-латексный состав <u>Planitop HDM, наносимый вручную</u>
13	Углеродные сетки	<u>FibARM Grid 230 /1200</u>	Продольный холст снизу, <u>хомуты по всей длине продольного холста</u>	<u>Полимер-цементный состав приготовления на площадке, наносимый методом «набрызга»</u>



# Экспериментальные исследования на балках

№	Типа армирующего материала	Обозначение армирующего материала	Схема усиления	Тип и метод нанесения адгезива
14	Углеродные сетки	<u>FibARM Grid 540 /1200</u>	Продольный холст снизу, <u>хомуты по всей длине продольного холста</u>	Цементно-латексный состав <u>Planitop HDM</u> , наносимый <u>вручную</u>
15	Углеродные сетки	<u>FibARM Grid 540 /1200</u>	Продольный холст снизу, <u>хомуты по всей длине продольного холста</u>	<u>Полимер-цементный состав приготовления на площадке, наносимый методом «набрызга»</u>
16	Ламели	FibARM lamel 12/100	Продольные накладки снизу	Эпоксидный адгезив SikaDur 30



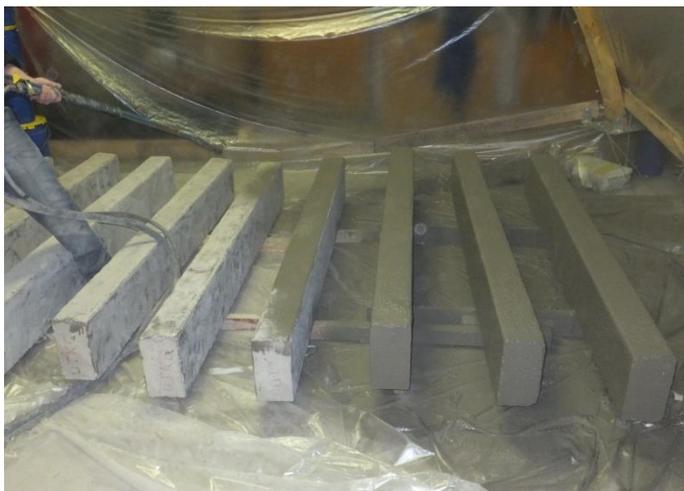
# Экспериментальные исследования на балках

Дополнительные испытания 5 типов образцов с защитным слоем бетона, предварительно разрушенным при помощи перфораторов и отбойных молотков и восстановленным полимерцементным ремонтным составом типа «Полифаст ФС».

№	Типа армирующего материала	Обозначение армирующего материала	Схема усиления	Тип и метод нанесения адгезива
1	Углеродные ленты	<u>FibARM Tape 530/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «мокрым» методом</u>
2	Углеродные ленты	<u>FibARM Tape 230/300</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Эпоксидный адгезив FibARM resin 230, <u>наклейка лент «сухим» методом</u>
3	Углеродные сетки	<u>FibARM Grid 600/1000</u>	Продольные ленты снизу, <u>хомуты по всей длине продольных лент</u>	Цементно-латексный состав <u>Planitop HDM, наносимый вручную</u>
4	Углеродные сетки	<u>FibARM Grid 540 /1200</u>	Продольный холст снизу, <u>хомуты по всей длине продольного холста</u>	<u>Полимер-цементный состав приготовления на площадке, наносимый методом «набрызга»</u>
5	Ламели	FibARM lamel 12/100	Продольные накладки снизу	Эпоксидный адгезив SikaDur 30



# Экспериментальные исследования на балках



# Экспериментальные исследования на балках

Испытания образцов проводились при помощи универсальной машины Instron Satec 1000 HDX. Для обеспечения чистого изгиба применялась дополнительная траверса с катками (расстояние между упорами 400мм)

Нагружение выполнялось в автоматическом режиме, увеличение (приращение) нагрузки выполнялось со скоростью 5 кН/мин.



# Экспериментальные исследования на балках

По результатам испытаний было зафиксировано несколько основных типов разрушений:

- Разрушение по сжатой зоне бетона.
- Разрушение по наклонному сечению рядом с опорой/точкой приложения нагрузки
- Разрушение по растянутой внешней арматуре.
- Отслоение защитного слоя бетона/ремонтного состава.
- Отслоение элементов внешнего армирования.



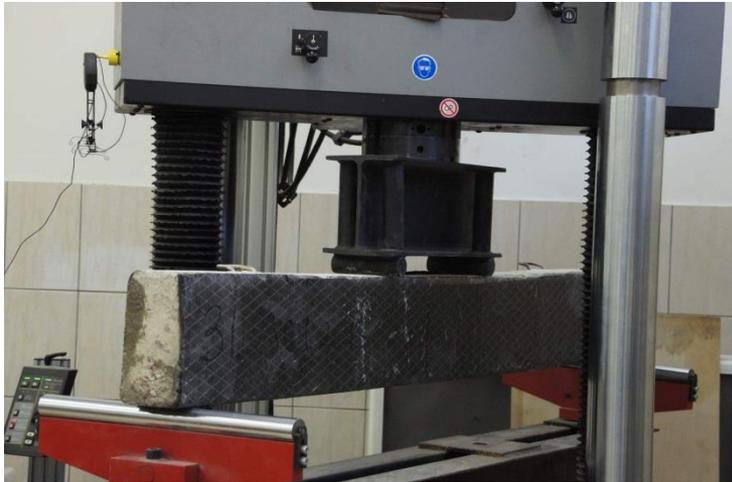
# Экспериментальные исследования на балках

Наиболее характерные типы разрушения



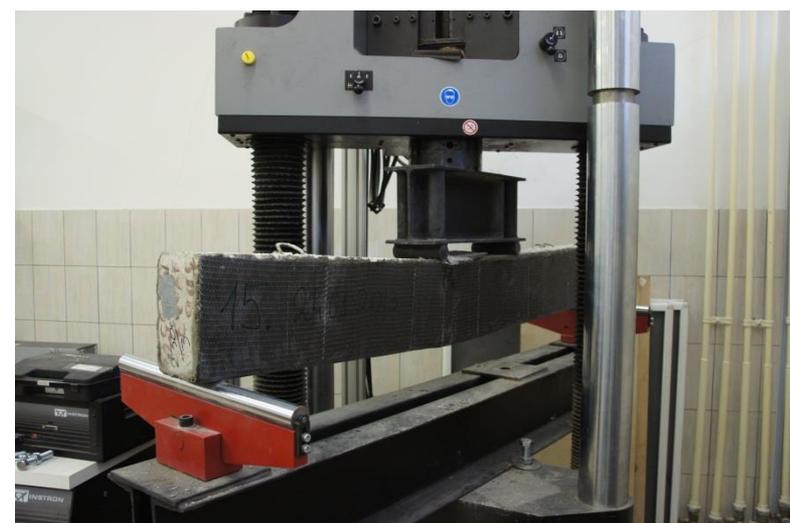
# Экспериментальные исследования на балках

Наиболее характерные типы разрушения



# Экспериментальные исследования на балках

Наиболее характерные типы разрушения



# Экспериментальные исследования на балках



# Экспериментальные исследования на балках

Условно все результаты можно разделить на три группы:

- фактические значения максимальных нагрузок выше чем у контрольных образцов на 25% и более (несущая способность повышена на 25% и более), 11 типов усиления;
- фактические значения максимальных нагрузок выше чем у контрольных образцов на величину от 10 до 24% (несущая способность повышена на 10-24%) – отмечены желтым цветом, 7 типов усиления
- несущая способность не увеличена , 2 типа усиления.



# Экспериментальные исследования на балках

ТИП	№ Испытания, порядковый	Обозначение армирующего материала	Схема усиления	Метод нанесения адгезива	Разрушающая нагрузка				
					Критическая (максимальная) нагрузка, кН	Среднее значение	Ожидаемое значение	Нес.способность относительно контрольного образца	Отношение фактического значения к ожидаемому
1		Эталон	Без усиления						
	1				57,52	64,49	44,05	100%	1,46
	2				73,28				
3	62,68								
2		FibARM 530/300	Хомуты по концам продольных лент	Мокрым методом					
	25				67,73	70,85	64,94	110%	1,09
	26				73,73				
27	71,08								
3		FibARM 530/300	Хомуты по всей длине	Мокрым методом					
	7				101,97	97,97	64,94	152%	1,51
	8				97,13				
9	94,81								
4		FibARM 530/300	Хомуты по всей длине	Сухим методом					
	19				98,51	92,65	64,94	144%	1,43
	20				94,57				
21	84,88								
5		FibARM 230/300	Хомуты по концам продольных лент	Сухим методом					
	22				68,95	62,25	64,94	97%	0,96
	23				57,42				
24	60,38								
6		FibARM 230/300	Хомуты по всей длине	Сухим методом					
	13				92,47	90,28	64,94	140%	1,39
	14				90,67				
15	87,70								
7		FibARM 230/300	Хомуты по всей длине	Мокрым методом					
	16				87,18	86,29	64,94	134%	1,33
	17				80,85				
18	90,84								
8		Нетк.холст 230	Хомуты по всей длине	Сухим методом					
	34				83,78	86,43	62,49	134%	1,38
	35				86,72				
36	88,80								



# Экспериментальные исследования на балках

		Нетк.холст 230	Хомуты по всей длине	Мокрым методом					
9	31				71,20	82,40	62,49	128%	1,32
	32				92,36				
	33				83,63				
10		Сетки FribArm Grid 600	Хомуты по всей длине	Вручную, состав Planitop HDM					
	51				80,54	80,64	78,19	125%	1,03
	52				80,94				
53	80,44								
11		Сетки FribArm Grid 600	Хомуты по всей длине	Набрызг Polyfast FS					
	60				83,02	75,55	78,19	117%	0,97
	62				67,46				
63	76,18								
12		Сетки 230		Вручную, состав Planitop HDM					
	46				79,53	78,70	64,94	122%	1,21
	47				75,14				
48	81,44								
13		Сетки 230		Набрызг Polyfast FS					
	55				85,51	75,52	64,94	117%	1,16
	57				73,43				
59	67,61								
14		Сетки 540		Вручную, состав Planitop HDM					
	43				97,95	89,33	67,59	139%	1,32
	44				77,23				
45	92,82								
15		Сетки 540		Набрызг Polyfast FS					
	56				80,26	77,59	67,59	120%	1,15
	58				72,53				
61	79,97								
16		Ламель		Сухим методом					
	37				73,58	74,17	73,67	115%	1,01
	38				70,94				
39	78,00								



# Экспериментальные исследования на балках

## Образцы с восстановленным защитным слоем

№	№ образца	Тип армирования	Состояние	Метод	Исходное состояние		Соотношение	Коэффициент	
					Среднее	Минимум			
17	4	FibARM 530/300 (Полифаст)	Хомуты по всей длине	Мокрым методом	106,86	104,97	64,94	163%	1,62
	5				103,56				
	6				104,50				
18	10	FibARM 230/300 (Полифаст)	Хомуты по всей длине	Сухим методом	85,61	88,96	64,94	138%	1,37
	11				90,11				
	12				91,15				
19	28	Сетки FibArm Grid 600 (полифаст)	Хомуты по всей длине	Вручную, состав Planitop HDM	95,67	90,98	78,19	141%	1,16
	29				99,14				
	30				78,12				
20	49	Сетки 540 (полифаст)	Хомуты по всей длине	Вручную, состав Planitop HDM	82,03	78,96	67,59	122%	1,17
	50				78,48				
	54				76,37				
21	40	Ламель (полифаст)		Сухим методом	49,75	55,86	73,67	87%	0,76
	41				60,25				
	42				57,59				



# Испытания колонн



# Испытания колонн



Вид усиленных холстами образцов подвергшихся испытаниям на прочность



# Испытания колонн



← Вид усиленных лентой образцов (без хомутов) подвергшихся испытаниям на прочность

**Среднее значение сопротивления сжатия составляет:**

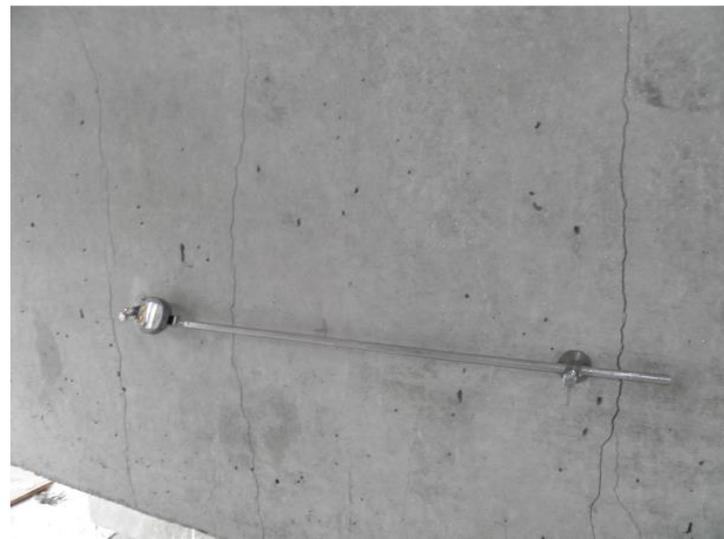
- Неусиленные – 19 МПа
- Усиленные лентой – 28 МПа
- Усиленные лентой – 25 МПа

← Вид усиленных лентой образцов (с хомутами) подвергшихся испытаниям на прочность

**В результате проведенных испытаний показана эффективность применения системы FibARM, что приводит к существенному увеличению несущей способности на 33-50%**



# Испытания неусиленных балок длиной 12 и 20 метров



# Испытания усиленных балок углеродными лентами



# Испытания усиленных балок углеродными ламелями



Экспериментальные значения несущей способности балок составляют:

- Неусиленные – 407 кН
- Усиленные лентой – 625 кН
- Усиленные ламелью- 653 кН



В результате проведенных испытаний показана эффективность применения системы FibARM, что приводит к существенному увеличению несущей способности балок длиной 12 и 20 метров на 53-60%



Спасибо за внимание!

