

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624.072.221

*ООО «НТО строителей Мордовии»*

Россия, 430005, г. Саранск,  
ул. Пролетарская, д. 39

**Селяев Владимир Павлович**,  
президент Научно-технического общества  
строителей Республики Мордовия,  
академик РААСН, доктор технических  
наук, профессор, зав. кафедрой  
«Строительные конструкции»  
E-mail: ntorm80@mail.ru

*Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева*

Россия, 430000, г. Саранск,  
ул. Советская, д. 24  
тел.: (8342) 47-71-56

**Соловьев Алексей Александрович**,  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: alekseyy\_solovyov@ro.ru

**Парамонов Роман Николаевич**,  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: parroman@mail.ru

**Алимов Марат Фатихович**,  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: marat\_alimov.91@mail.ru

**Шабаяев Ильшат Наильевич**,  
магистрант архитектурно-строительного  
факультета  
E-mail: ilshatshabaev@yandex.ru

*Ltd. «Scientific and Technical Society of the  
Mordovia Republic»*

Russia, 430005, Saransk, 39,  
Proletarskaya St.

**Seljaev Vladimir Pavlovich**,  
President of Scientific and Technical Society  
of the Mordovia Republic, Academician of the  
Russian Academy of Architectural and Construction  
Sciences, Doctor of Sciences, Professor, Head of  
the department «Building designs»  
E-mail: ntorm80@mail.ru

*Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev*

Russia, 430000, Saransk, 24,  
Soviet St.,  
tel.: (8342) 47-71-56

**Solovyev Aleksey Aleksandrovich**,  
Postgraduate of the department «Building  
designs»  
E-mail: alekseyy\_solovyov@ro.ru

**Paramonov Roman Nikolayevich**,  
Postgraduate of the department «Building  
designs»  
E-mail: parroman@mail.ru

**Alimov Marat Fatikhovich**,  
Postgraduate of the department «Building  
designs»  
E-mail: marat\_alimov.91@mail.ru

**Shabayev Ilshat Nailievich**,  
Undergraduate architecture and construction  
engineering  
E-mail: ilshatshabaev@yandex.ru

### РАБОТА БАЛОК, АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНОЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ

В.П. Селяев, А.А. Соловьев, Р.Н. Парамонов, М.Ф. Алимов, И.Н. Шабаяев

Приведены результаты экспериментальных исследований прочности бетонных балок, армированных композитной стеклопластиковой арматурой.

*Ключевые слова: армобетонные конструкции, композитная стеклопластиковая арматура, экспериментальные исследования.*

## WORK OF CONCRETE BEAMS REINFORCED BY FIBERGLASS REINFORCEMENT

V.P. Selyaev, A.A. Solovyev, R.N. Paramonov, M.F. Alimov, I.N. Shabaev

The results of the experimental research of concrete beams strength reinforced by composite fiberglass reinforcement are described in the article.

*Keywords: reinforced concrete structures, composite fiberglass reinforcement, experimental studies.*

Многочисленные публикации в мировой научной литературе о применении композитной арматуры подтверждают перспективность этого материала. За последние годы в России заметно увеличился объем производства композитной арматуры, которая применяется в основном в качестве гибких связей в многослойных конструкциях.

Физико-механические свойства композитной арматуры позволяют использовать ее в армобетонных конструкциях в виде отдельных стержней, плоских сеток, объёмных каркасов. Однако ее применение сдерживается, так как недостаточно экспериментальных данных об особенностях совместной работы цементного бетона и композитной арматуры в условиях действия длительных нагрузок различного вида, переменных значений влажности, температуры, рН поровой среды.

Экспериментально исследованы особенности работы композитной арматуры в изгибаемых элементах строительных конструкций; изучены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния бетона и композитной арматуры в процессе нагружения, характер деформирования и возможные формы разрушения элементов, армированных композитной стеклопластиковой арматурой, получены данные о прочности, жесткости и трещиностойкости для последующего анализа.

В качестве экспериментальных образцов были изготовлены армобетонные балки прямоугольного сечения размерами 140×120×1030 мм из бетона класса В20 по ГОСТ 7473–94 [1], армированные стеклопластиковыми арматурными стержнями производства компании «Армастек» Ø 6 (ТУ 2296-001-60722703–2010) [2]. Композитная стеклопластиковая арматура представляет собой стержни периодического профиля, изготавливаемые методом пултрузии из непрерывного армирующего волокна, в качестве которого применяется стеклянный ровинг, и термореактивного связующего на основе синтетических смол. Для увеличения сцепления с бетоном на основной стержень навит пучок волокна меньшего диаметра.

Испытания бетонных балок, армированных стержнями композитной стеклопластиковой арматуры, производились в соответствии с ГОСТ 8829–94 [3].

По экспериментальным данным определено нормативное сопротивление композитной арматуры при растяжении, которое соответствует условному пределу текучести композитной арматуры, заданному с 95 % вероятностью.

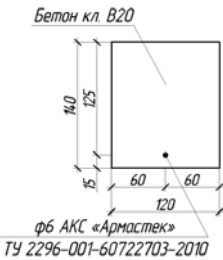
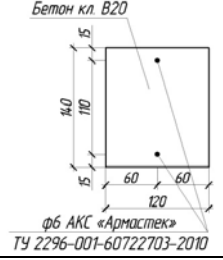
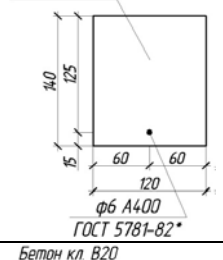
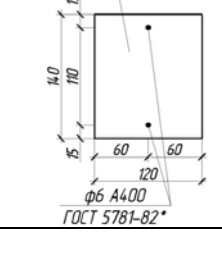
Экспериментально исследовались особенности деформирования и разрушения армобетонных балок путем испытания 2 серий образцов, включавших 2 балки, армированные композитной стеклопластиковой арматурой, и 1 балку, армированную стальными стержнями Ø6 А400 ГОСТ 5781–82\* [4]. Диаметр композитной и стальной арматуры, ее расположение принимались одинаковыми. Схема армирования показана в таблице.

В таблице принят следующий принцип обозначений: “С” – балки, армированные композитной арматурой; “М” – металлической. В серии С-1 и М-1 испытывались балки с одиночным армированием стержнями диаметром 6 мм в растянутой зоне бетона. Серии С-3 и М-3 представлены балками с двойным армированием стержнями диаметром 6 мм в растянутой и сжатой зонах. Величина защитного слоя бетона – 15 мм, установка арматурных стержней в проектное положение выполнялась при помощи пластмассовых фиксаторов.

Общий вид установки для испытаний приведен на рис. 1. Она состоит из испытываемого образца 1, установленного на подставки. Сосредоточенная нагрузка, созда-

ваемая с помощью домкрата, передается на балку через металлическую траверсу 2. Под действием нагрузки испытываемая балка упирается в шарнирные опоры 3. Нагружение образцов – ступенчатое – по 5...10 % от предполагаемой разрушающей нагрузки. Контроль величины нагрузки осуществлялся при помощи переносного динамометра 4 ДОСМ-3-50У 5098. Прогиб измерялся тремя прогибомерами часового типа с ценой деления 0,1 мм (5). Ширина раскрытия трещин измерялась оптическим микроскопом МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм. На каждой ступени нагрузка выдерживалась 10 минут, во время которых снимались показания приборов, фиксировались трещины, их развитие по высоте и измерялась ширина раскрытия трещин на уровне продольной композитной арматуры.

Результаты испытаний бетонных балок, армированных композитной стеклопластиковой арматурой

Номер балки	Эскиз поперечного сечения	Разрушающие усилия				Момент трещинообразования		Ширина раскрытия трещин	Прогибы	
		$M_{ult}$ кН·м	$M_{ult}^{теор}$ кН·м	$Q_{ult}$ кН	$Q_{ult}^{теор}$ кН	$M_{cr,ult}$ кН·м	$M_{cr,ult}^{теор}$ кН·м	$a_{cr}$ мм	$f_{ser}$ мм	$f_{ult}$ мм
С-1		1,355	1,174	4,516	10,124	0,541	0,553	1,10	2,74	10,79
		1,511		5,038		0,812		1,50	3,21	16,77
С-3		1,355	1,174	4,516	10,124	0,572	0,555	1,70	2,12	14,05
М-1		1,355	1,215	4,516	10,124	1,000	0,569	0,8	0,53	2,41
М-3		1,418	1,215	4,725	10,124	-	0,577	-	-	2,24

Нормативное значение сопротивления растяжению стеклопластиковой арматуры определено согласно проекту СП «Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования» [5]:

$$R_{f,n} = R_{f,исп}^{cp} (1 - 1,64v) = 1159,018 \cdot (1 - 1,64 \cdot 0,141) = 891,007 \text{ МПа} , \quad (1)$$

где  $R_{f,исп}^{cp}$  – среднее значение сопротивления растяжению стеклопластиковой арматуры по результатам испытания образцов,  $R_{f,исп}^{cp} = 1159,018 \text{ МПа}$  ;  $S$  – стандартное отклонение значений среднего значения сопротивления растяжению стеклопластиковой арматуры по результатам испытания образцов,  $S = 163,213 \text{ МПа}$  ;  $v$  – коэффициент вариации значений среднего значения сопротивления растяжению стеклопластиковой арматуры по результатам испытания образцов,  $v = S / R_{f,исп}^{cp} = 163,213 / 1159,018 = 0,141$ .

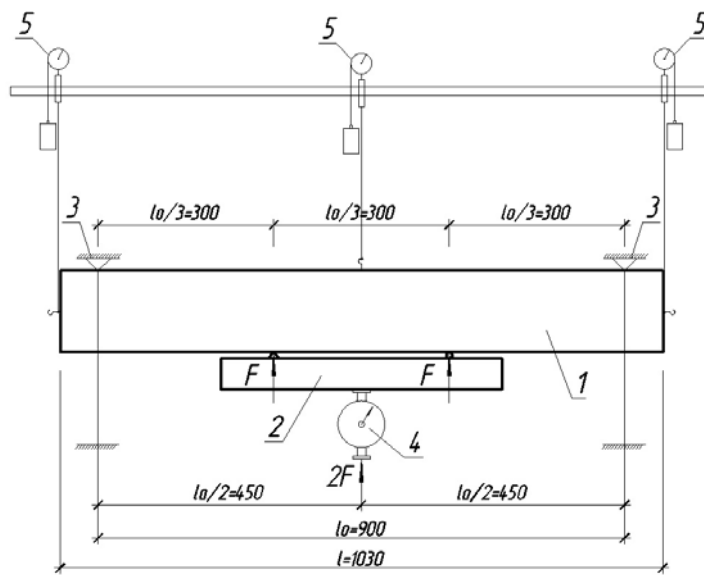


Рис. 1. Схема нагружения опытных балок и расстановки измерительной аппаратуры

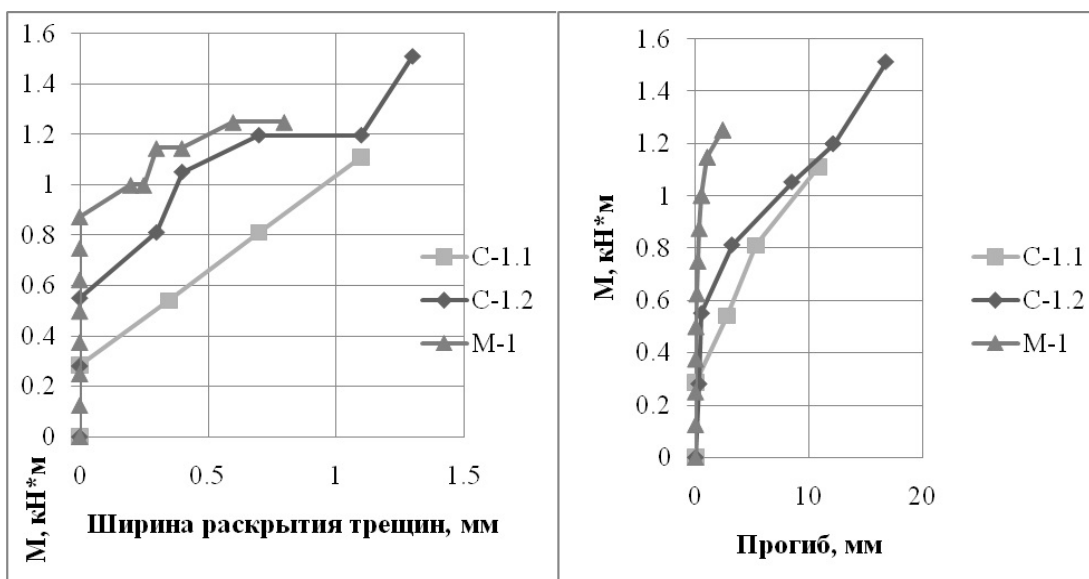


Рис. 2. Измерение прогибов и ширины раскрытия трещин с ростом нагрузки (балки C-1 и M-1)

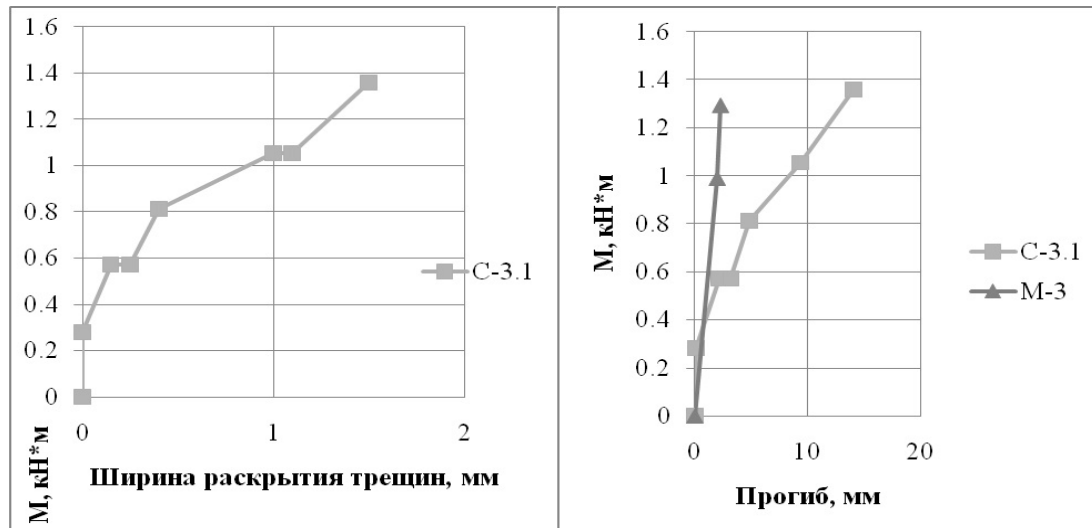


Рис. 3. Измерение прогибов и ширины раскрытия трещин с ростом нагрузки (балки С-3 и М-3)

Расчетное значение сопротивления растяжению стеклопластиковой арматуры при нагружении конструкции кратковременной нагрузкой согласно [5] составляет:

$$R_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} R_{f,n} / \gamma_f = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 891,007 / 1,5 = 475,204 \text{ МПа}, \quad (2)$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по материалу, принимаемый при расчете по предельным состояниям второй группы равным 1,0, а при расчете по предельным состояниям первой группы – равным 1,5;  $\gamma_{f1} = 0,8$  – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации конструкции с неметаллической композитной арматуры, принимаемый по табл. 5.2 [5];  $\gamma_{f2} = 1,0$  – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки (для кратковременной нагрузки), принимаемый по табл. 5.3 [5].

Таким образом, теоретическая несущая способность испытанных балок серий С-1 и С-3 составляет

$$x = \frac{R_f A_f}{R_b b} = \frac{475,204 \cdot 10^3 \cdot 20,41 \cdot 10^{-6}}{10,35 \cdot 10^3 \cdot 0,12} = 7,809 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \quad (3)$$

$$\begin{aligned} M_{ult}^{теор} &= R_f A_f (h_0 - 0,5x) = \\ &= 475,204 \cdot 10^3 \cdot 20,41 \cdot 10^{-6} \cdot (0,125 - 0,5 \cdot 7,809 \cdot 10^{-3}) = 1,174 \text{ кН} \cdot \text{м}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $A_f = 20,41 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  – площадь поперечного сечения композитной арматуры  $\varnothing 6$  мм.

Для определения фактического расчетного значения сопротивления растяжению стеклопластиковой арматуры в армобетонных конструкциях с одиночным армированием произведем обратный расчет, подставив в формулы (3)-(4) полученные при испытаниях значения изгибающих моментов.

Наименьший изгибающий момент, действующий во время разрушения балок серий С-1 и С-3, составляет  $M_{ult} = 1,355 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

$$M_{ult} = R_f^p A_f (h_0 - 0,5x), \quad (5)$$

где  $R_f^p$  – расчетное фактическое значение предела прочности композитной арматуры, МПа;  $R_b = R_b^н \gamma = 11,50 \cdot 0,9 = 10,35 \text{ МПа}$  – расчетное значение предела прочности бетона на сжатие при расчете по 1-й группе предельных состояний (для бетона класса В20).

Подставляем формулу (3) в формулу (4), получаем:

$$\begin{aligned}
 M_{ult} &= R_f^p A_f (h_0 - 0,5x) = R_f A_f (h_0 - 0,5 \frac{R_f^p A_f}{R_b b}) = \\
 &= R_f^p \cdot 20,41 \cdot 10^{-6} (0,125 - 0,5 \cdot \frac{R_f^p \cdot 20,41 \cdot 10^{-6}}{10,35 \cdot 10^3 \cdot 0,12}) = \\
 &= R_f^p \cdot 20,41 \cdot 10^{-6} (0,125 - R_f^p \cdot 8,217 \cdot 10^{-9}) = \\
 &= R_f^p \cdot 2,551 \cdot 10^{-6} - (R_f^p)^2 \cdot 1,677 \cdot 10^{-13}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Решая квадратное уравнение вида

$$-1,677 \cdot 10^{-13} \cdot (R_f^p)^2 + 2,551 \cdot 10^{-6} \cdot R_f^p - 1,355 = 0, \tag{7}$$

получаем  $R_f^p = 542,630$  МПа, что на 14,2 % больше теоретического значения, подсчитанного по методике [5].

### Выводы

1. Закономерности сопротивления бетонных элементов, армированных композитной стеклопластиковой арматурой, а именно характер трещинообразования, деформирования и разрушения, соответствуют аналогичным закономерностям для элементов, армированных стальной арматурой.

2. В бетонных балках, армированных стеклопластиковой арматурой, возможно два основных вида разрушения:

- разрыв продольной растянутой арматуры;
- раздробление бетона сжатой зоны.

При низких коэффициентах армирования растянутой зоны бетона (балки серии С-1 и С-3) разрушение происходит в результате разрыва арматуры.

3. Прогибы балок, армированных композитной стеклопластиковой арматурой, при нагрузке, соответствующей уровню нормативной, составляли 10,95...20,15 мм, что соответствует (1/44,7...1/82,2) пролета. Это не противоречит требованиям действующих СП к предельным прогибам элементов со стальной арматурой и объясняется малым модулем упругости стеклопластиковой арматуры.

4. Ширина раскрытия трещин опытных балок при нагрузке, соответствующей уровню нормативной, изменялась в зависимости от коэффициента продольного армирования растянутой зоны и для балок С-1 и С-3 серий составляла 1,10...1,70 мм. Таким образом, зафиксированная ширина раскрытия трещин превышает предельные значения, установленные для стальной арматуры (0,30...0,40 мм).

Для бетонных конструкций с неметаллической арматурой проведение расчётов по определению ширины раскрытия трещин – ( $a_{cr,c}$ ) из условий сохранности арматуры не требуется, поскольку для них не установлено предельно допустимых величин ширины раскрытия трещин – ( $a_{cr,ult}$ ).

5. Композитная арматура может применяться для армирования бетонных конструкций при соответствующем технико-экономическом обосновании, но ввиду установленных отличий в прочностных и деформативных характеристиках, несущей способности, трещиностойкости и деформативности, для применения композитной стеклопластиковой арматуры при проектировании необходима разработка специального нормативного документа на основании результатов проведенных экспериментальных исследований.

## Список литературы

1. ГОСТ 7473–94. Смеси бетонные. Технические условия.
2. ТУ 2296-001-60722703–2010. Арматура композитная «Армастек». Технические условия.
3. ГОСТ 8829–94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.
4. ГОСТ 5781–82\*. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
5. Первая редакция Проекта СП «Конструкции из бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования».

## References

1. GOST 7473–94. Ready-mixed concrete. Specifications.
2. TU 2296-001-60722703–2010. Composite reinforcement «Armastek». Specifications.
3. GOST 8829–94. Reinforced concrete and prefabricated concrete building products. Loading test methods. Assessment of strength, rigidity and crack resistance.
4. GOST 5781–82\*. Hot-rolled steel for reinforcement of ferroconcrete structures. Specifications.
5. The first edition of the project SP «Construction of concrete with composite non-metallic reinforcement. Rules for design».