

DOI: 10.12737/23298

Фролов Н.В., ассистент,  
Смоляго Г.А., д-р техн. наук, проф.,  
Полоз М.А., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ АРМОБЕТОННЫХ БАЛОК С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ СТЕРЖНЕЙ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ

frolov\_pgs@mail.ru

В статье приводятся обобщенные результаты контрольных испытаний на статический изгиб образцов армобетонных балок с различным содержанием (100 % и 50 %) в растянутой зоне стержневой стеклопластиковой арматуры. Определены зависимости изменения параметров напряженно-деформированного состояния таких изгибаемых элементов от количества растянутой стеклопластиковой арматуры. Исчерпание несущей способности всех образцов произошло по наклонному сечению, чему в работе дается ряд объяснений. Рассмотренные в эксперименте виды армирования признаны неэффективными, по сравнению с традиционным стальным армированием железобетонных конструкций. Для дальнейших исследований предложено понизить количество в сечении растянутой стеклопластиковой арматуры до 30 % от общего содержания.

**Ключевые слова:** стеклопластиковая и стальная арматура, стержень, армобетонная балка, образец, разрушающая нагрузка, наклонная трещина.

**Введение.** При длительной эксплуатации в условиях агрессивной среды у изгибаемых железобетонных элементов значительно уменьшается площадь поперечного сечения растянутой стальной арматуры вследствие ее коррозии. В результате этого снижается прочность, трещиностойкость и жесткость конструкций. Возникает необходимость проведения различных дорогостоящих ремонтов несущих конструкций или даже их замены, что не всегда возможно без прекращения функционирования здания. Как отмечено в работе [1], коррозионные повреждения арматурной стали являются одной из главных причин снижения долговечности железобетона.

Повышение долговечности как вновь изготавливаемых, так и эксплуатируемых армобетонных конструктивных элементов некоторые ученые связывают с применением неметаллической полимеркомпозитной арматуры [2, 3], которая обладает высокой стойкостью к коррозионным воздействиям и хорошо воспринимает другие средовые и силовые факторы.

На сегодняшний день для внутреннего полимеркомпозитного армирования бетонных конструкций наиболее рационально использовать стержневую стеклопластиковую или базальтопластиковую арматуру. Хотя есть и другие виды полимеркомпозитной арматуры (арамидопластиковая и углепластиковая). Остановимся более подробно на стеклопластиковой арматуре.

Промышленностью выпускается широкая номенклатура стержневой стеклопластиковой арматуры. В работах [4, 5] указано, что при це-

лостности полимерной матрицы она обладает стойкостью к щелочной среде бетона и стойкостью к агрессивному воздействию сульфатов и хлоридов, имеет высокую прочность при растяжении, неэлектропроводна, диамагнетик, нетеплопроводна и не теряет свои прочностные свойства при сверхнизких температурах. В тоже время имеются следующие недостатки: низкий модуль упругости при растяжении, относительно малая огнестойкость, нецелесообразность применения в сжатой зоне бетона, сложность выполнения соединений стержней и несовершенство технологии устройства анкерочного слоя на силовом теле стержня.

Возможности применения стержневой стеклопластиковой арматуры в качестве рабочей для ненапряженных изгибаемых армобетонных конструкций изучены достаточно подробно. В исследованиях [6–8] экспериментально установлено, что армобетонные балки, содержащие в растянутой зоне только стеклопластиковую арматуру (100 % содержание) обладают намного меньшей несущей способностью, жесткостью и трещиностойкостью, чем эталонные железобетонные балки (0 % содержание). Прямая замена стальной арматуры на стеклопластиковую аналогичной площади оказывается абсолютно неэффективной.

Авторами были проведены дополнительные поисковые [9, 10], а затем и экспериментальные исследования [11] образцов армобетонных балок, имеющих в растянутой зоне двухрядное расположение стержней стальной и стеклопластиковой арматуры с соотношением площадей

сечений 50/50 (50 % содержание). В настоящей работе ставится цель – оценить зависимости изменения параметров напряженно-деформируемого состояния таких балок от уменьшения количества содержания в сечении стеклопластиковой арматуры со 100 % до 50 %.

**Методология.** Контрольные испытания образцов армобетонных балок на статический изгиб проводились в соответствии с основными положениями ГОСТ 8829 на электромеханической универсальной разрывной машине марки Р-5. Деформации балок в пролете и на опорах фиксировались при помощи индикаторов часового типа ИЧ-10.

**Основная часть.** В контрольных испытаниях на статический изгиб [6, 11] опытными образцами выступали однопролетные армобетонные балки с размерами поперечного сечения 80×120 мм и длиной 1200 мм, в растянутой зоне армированные стержнями стальной арматуры класса по прочности на растяжение А400 (ГОСТ 5781) и стержнями стеклопластиковой арматуры с песчаным покрытием ROCKBAR (ООО «Гален»). Данные о маркировке и принятом продольном сжатом и растянутом армировании сечений образцов балок указаны в таблице 1. Поперечное армирование всех балок выполнено стержнями стальной арматуры класса А400 диаметром 6 мм с шагом 80 и 100 мм (рис. 1).

Таблица 1

Маркировка образцов балок и характеристики продольного армирования

Маркировка образцов	Схема продольного армирования сечений	Армирование, см <sup>2</sup>		Примечание
		Растянут. зона	Сжат. зона	
		$A_{st} / A_{ft}$	$A_{sc}$	
БС1; БС2		0,000 / 0,442	0,283	Армирование стержнями стеклопластиковой арматуры
БМС1; БМС2		0,283 / 0,255	0,283	Комбинированное армирование стержнями стальной и стеклопластиковой арматуры

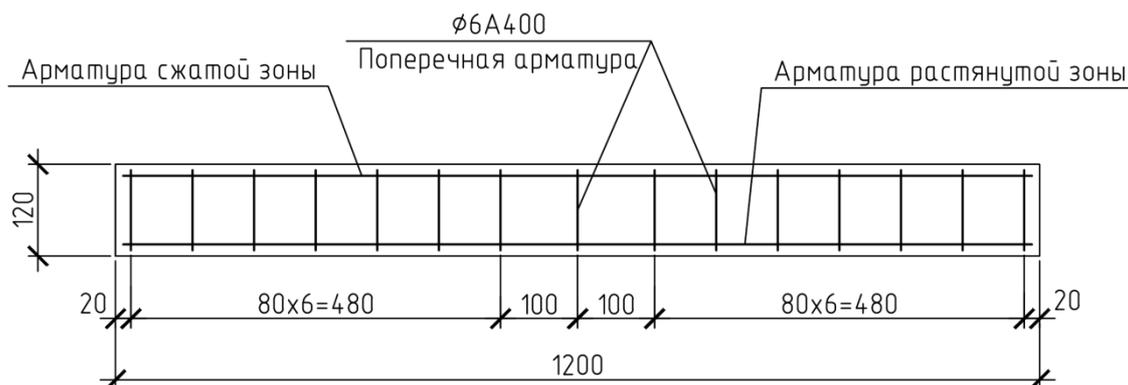


Рис. 1. Схема поперечного армирования образцов балок

Соединения стержней в плоских каркасах выполнялись при помощи вязальной оцинкованной проволоки диаметром 0,9 мм.

Все образцы балок были изготовлены из тяжелого бетона одной партии класса по прочности на сжатие В30 и до испытаний выдержаны 28 суток в нормальных температурно-влажностных условиях твердения.

Схема опирания и нагружения образцов – однопролетная балка, свободно опертая по двум сторонам и нагруженная двумя сосредоточенными силами с образованием в пролете зоны

чистого изгиба  $l/4$  ( $l$  – расстояние между опорами).

Ввиду конструктивных особенностей устройства испытательного оборудования участок появления и развития нормальных трещин оказался в зоне ограниченной видимости, что не позволило использовать микроскоп МПБ-2 для контроля ширины раскрытия трещин.

Результаты испытаний всех образцов балок на изгиб после аналитической обработки представлены в табл. 2.

Таблица 2

### Результаты испытаний образцов балок на изгиб

Параметр исследования	Маркировка образцов балок			
	БС1	БС2	БМС1	БМС2
Разрушающая нагрузка $P_u$ , кН	14.52	15.11	18.54	18.17
Нагрузка при образовании первой трещины $P_{cr}$ , кН	3.92	3.98	4.81	5.45
Нагрузка при $f = l/120$ , кН	10.39	10.04	14.67	14.91
Прогиб при нагрузке $P_u$ , мм	15.97	16.98	19.25	18.11
Прогиб при нагрузке $0.67P_u$ , мм	7.28	8.16	6.21	5.85
Количество трещин, шт.	7	7	7	8
Максимальная высота развития трещин, мм	103	104	104	102
Характер разрушения	Разрушение по наклонному сечению с глубокими повреждениями бетона растянутой зоны		Разрушение по наклонному сечению с глубокими повреждениями бетона растянутой зоны	

Характер трещинообразования и разрушения образцов балок показан на рис. 2.

В ходе испытаний образцов балок имеющих в растянутой зоне только стеклопластиковую арматуру выявлено, что у них первые трещины появляются на этапе нагружения соответствующем 26–27 % от разрушающей нагрузки. Характер трещинообразования у образцов БС1 и БС2 следующий: первыми в зоне чистого изгиба появляются нормальные трещины, затем при нагрузке примерно 50 % от разрушающей на расстоянии  $l/4$  от опор появляются наклонные трещины. В дальнейшем, с увеличением нагрузки активное развитие нормальных трещин прекращается, а интенсивное раскрытие и развитие наклонной трещины по сечению к месту приложения сосредоточенной силы приводит к разрушению образцов. Данное явление может быть объяснено исключением из работы стержней поперечной арматуры и малым модулем упругости продольной стеклопластиковой арматуры, и как след-

ствие повышенной деформативностью образцов. У обеих балок образовалось по 7 трещин, расстояния между которыми находятся в диапазоне 75–105 мм.

У балок с комбинированным армированием первые трещины образуются на этапе нагружения соответствующем 26–30 % от разрушающей нагрузки. Характер трещинообразования у образцов БМС1 и БМС2 следующий: первыми в зоне чистого изгиба появляются нормальные трещины, затем при нагрузке примерно 60 % от разрушающей на расстоянии  $l/4$  от опор появляются наклонные трещины. Характер разрушения такой же, как и образцов БС. У обеих балок образовалось по 7–8 трещин удаленных друг от друга на расстоянии 75–110 мм.

Среднее значение разрушающей нагрузки образцов балок с комбинированным армированием растянутой зоны на 23,9 % выше, чем у балок без содержания стальной арматуры. Стеклопластиковая арматура в обоих случаях рабо-

тает в условиях среза, что приводит к глубоким повреждениям бетона нижней растянутой грани.

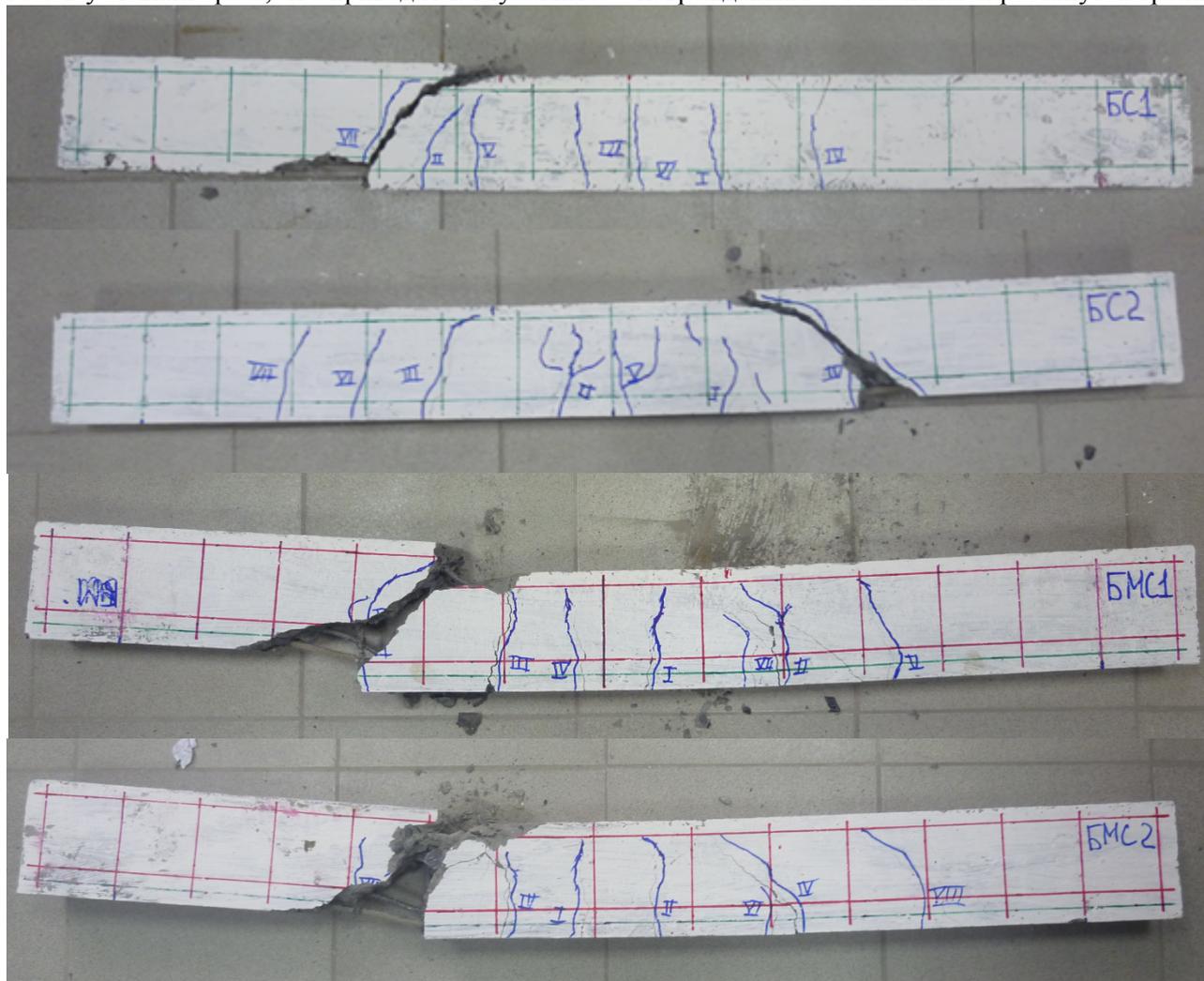


Рис. 2. Характер трещинообразования и разрушения образцов балок, соответственно сверху вниз: BC1, BC2, BMC1 и BMC2

Прогибы в середине пролета балок BMC в момент их разрушения находятся в диапазоне значений  $(1/62-1/66) l$  и на всех этапах деформирования меньше, чем у балок BC. Так, при значении нагрузки  $0.67P_u$  прогибы меньше на 14,7–28,3 %. Деформативность всех балок резко увеличивается сразу после появления нормальных и наклонных трещин.

При максимально допустимом относительном прогибе изгибаемых элементов, в соответствии с СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия» равном  $1/120$  от расчетной величины пролета, предельная нагрузка балок с комбинированным армированием снижается в 1,2-1,3 раза и оказывается на 44,8% выше соответствующего среднего значения образцов содержащих в растянутой зоне только стеклопластиковую арматуру. Таким образом, на несущую способность балок со стеклопластиковой арматурой гораздо большее влияние оказывает ее количество и низкий (порядка 50 ГПа) модуль упругости, нежели чем прочность на осевое растяжение.

**Выводы.** На основании анализа результатов испытаний можно сделать заключение, что с уменьшением содержания в растянутой зоне стержней стеклопластиковой арматуры вдвое (со 100 % до 50 %) и компенсированием их стержнями стальной арматуры прочность, жесткость и трещиностойкость изгибаемых армобетонных элементов возрастает. При этом данные конструкции, по сравнению с эталонными железобетонными балками [11], имеют большую прочность, но обладают также меньшей жесткостью и трещиностойкостью. Следовательно, такой вид армирования (50 % содержание) малоэффективен. В связи с этим предлагается понизить количество в сечении растянутой стеклопластиковой арматуры до 30 % от общего содержания арматуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие корро-

зионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 25–27.

2. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неме-таллическая композитная арматура для бетон-ных конструкций // Промышленное и граждан-ское строительство. 2013. № 1. С. 45–47.

3. Уманский А.М., Беккер А.Т. Перспекти-вы применения композитной арматуры // Вест-ник Инженерной школы Дальневосточного фе-дерального университета. 2012. № 2 (11). С. 7–13.

4. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неме-таллической композитной арматурой // Про-мышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.

5. Римшин В.И., Меркулов С.И. О Норми-ровании характеристик стержневой неме-таллической композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 22–26.

6. Фролов Н.В. Экспериментальные иссле-дования образцов армобетонных балок, в растя-нутой зоне армированных стеклопластиковыми стержнями // Вестник Белгородского государ-ственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 46–50.

7. Селяев В.П., Соловьев А.А., Парамонов Р.Н., Алимов М.Ф., Шабаев И.Н. Работа балок,

армированных композитной стеклопластиковой арматурой // Региональная архитектура и строи-тельство. 2013. № 3. С. 67–73.

8. Антаков А.Б., Антаков И.А. Эксперимен-тальные исследования изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой // Известия Ка-занского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 3. С. 7–13.

9. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О прочности балок из тяжелого бе-тона при использовании стальной, углепласти-ковой и комбинированной арматуры, располо-женной в два ряда // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 212.

10. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбиниро-ванной арматуры // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 27. № 4. С. 211.

11. Фролов Н.В., Полоз М.А., Колесникова Е.Г. Экспериментальные исследования образцов армобетонных балок с двухрядным расположе-нием в растянутой зоне стержней стальной и стеклопластиковой арматуры // Вестник Белго-родского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 10. С. 83–88.

---

**Frolov N.V., Smolyago G.A., Poloz M.A.**

#### **EXPERIMENTAL RESEARCH OF RC BEAMS IN COMBINATION WITH GLASS-PLASTIC BARS**

*The results of bending tests of RC beams with different content (50 % and 100 %) of glass-plastic bars in tensioned area of cross-section are given in the article. Dependence between stress-strain condition parameters for such elements and quantity of glass-plastic bars is determined. All beams were ruptured by inclined section, what is explained in the article. This type of reinforcement is found out to be ineffective in comparison with traditional ones. Further research will consider portion of glass-plastic bars reduced to 30 % of total amount of reinforcement.*

**Key words:** *glass plastic and steel reinforcement, bar, RC beam, sample, ultimate load, inclined crack.*

---

**Фролов Николай Викторович**, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: frolov\_pgs@mail.ru

**Смоляго Геннадий Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: tpk-psv@yandex.ru

**Полоз Максим Александрович**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: max.poloz@inbox.ru