

Фролов Н.В., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ АРМОБЕТОННЫХ БАЛОК, В РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМИ СТЕРЖНЯМИ

frolov_pgs@mail.ru

В статье приводятся данные о результатах испытаний на изгиб образцов армобетонных балок, в растянутой зоне армированных стеклопластиковыми стержнями. Для сравнительного анализа были также исследованы аналогичные железобетонные балки, которые в работе рассматриваются в качестве эталонных образцов. Установлено, что образцы балок со стеклопластиковой арматурой способны воспринимать меньшую нагрузку, обладают меньшей жесткостью и трещиностойкостью. Разрушение таких изгибаемых конструкций происходит по наклонному сечению. Это объясняется выключением из работы стержней поперечной арматуры и малым модулем упругости продольной стеклопластиковой арматуры, и как следствие повышенной деформативностью образцов. В связи с этим делается вывод, что стеклопластиковую арматуру в растянутой зоне армобетонных балок будет целесообразнее использовать совместно со стальной арматурой.

Ключевые слова: *стеклопластиковая арматура, армобетонная балка, разрушающая нагрузка, нормальная и наклонная трещина.*

Введение. Полимерные материалы и изделия из них находят все более частое применение в строительстве. Это в полной мере относится и к неметаллической полимеркомпозитной арматуре.

Полимеркомпозитная арматура представляет собой относительно новый конструкционный материал, состоящий из непрерывного армирующего наполнителя (волокон) и полимерной матрицы (связующего). Волокна, составляющие порядка 70–90 % объема, отвечают за механическую прочность, а связующее – за целостность и химическую стойкость полимеркомпозитной арматуры.

Тенденции к снижению стоимости полимеркомпозитной арматуры возможны с совершенствованием технологии ее изготовления и при продажах в условиях рыночной конкуренции. А пока из-за существенной разницы в ценах со стальной арматурой применение полимеркомпозитной целесообразно и эффективно только в случае необходимости использования ее свойств, которыми традиционная стальная арматура не обладает [1]. Так частичная или полная замена стальной арматуры полимеркомпозитной позволяет повысить долговечность конструкций, эксплуатируемых при воздействии агрессивных сред, при наличии блуждающих токов, а также расширить область применения антимагнитных и диэлектрических бетонных армированных конструкций [2]. В то же время следует отметить, что такая замена в железобетонных элементах возможна не повсеместно. Например, нельзя или не рекомендуется использовать

полимеркомпозитную арматуру в качестве сжатой ни в колоннах, ни в балочных конструкциях [3]. Имеются и другие ограничительные сложности по применению.

На протяжении последних 30–40 лет полимеркомпозитная арматура активно изучается в странах Северной Америки, Западной Европы и Японии, где ее производство и использование закреплено на уровне государственных стандартов и норм проектирования. В нашей стране соответствующая нормативная база только формируется, что объясняется недостаточным количеством проведенных экспериментально-теоретических исследований в затронутом тематическом направлении.

Производство полимеркомпозитной арматуры в России регламентируется ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия». Совсем недавно был введен в действие СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования», а СП на проектирование армобетонных конструкций с полимеркомпозитной арматурой находится лишь в стадии разработки. Поэтому необходимы дополнительные экспериментальные данные об особенностях работы таких конструкций. В данной статье речь пойдет об изгибаемых конструкциях.

Методология. Испытания образцов армобетонных балок на изгиб осуществлялись в соответствии с основными положениями ГОСТ

8829 при помощи электромеханической универсальной разрывной машины марки Р-5. Деформации крайнего фибрового волокна бетона сжатой зоны определялись при помощи индикатора часового типа ИЧ-1. Деформации балок в пролете и на опорах определялись при помощи индикаторов часового типа ИЧ-10.

Для удобства мониторинга трещинообразования одна из боковых поверхностей балок была окрашена двумя слоями раствора строительной извести. В последующем на эту грань цветными маркерами условно нанесено положение арматурных стержней.

Испытания балок до разрушения проводились ступенчатой нагрузкой. Выдержка на каждом этапе нагружения с учетом снятия показаний с приборов составляла 7–8 минут.

Основная часть. Из всех видов полимеркомпозитной арматуры особый научный интерес представляет арматура на основе стеклянного волокна и синтетической смолы. Поисковые результаты исследований и испытаний на прочность, щелочестойкость, на сцепление с бетоном, показали высокую эффективность стеклопластиковых стержней при их эксплуатации в условиях воздействия

агрессивных сред [4, 5, 6]. Поэтому в рамках программы экспериментальных исследований диссертационной работы были произведены испытания на изгиб образцов армобетонных балок, в растянутой зоне которых, по сравнению с аналогичными железобетонными балками, стальная арматура полностью заменена на стеклопластиковую. На основании испытаний для последующего анализа получены данные о прочности, жесткости и трещиностойкости таких конструкций. При этом балки с обычной стальной арматурой условно рассматриваются в качестве эталонных образцов.

Опытными образцами являлись армобетонные балки с поперечным сечением 80×120 мм и длиной 1200 мм, в растянутой зоне армированные стержнями стальной арматуры класса по прочности на растяжение А400 или стержнями стеклопластиковой арматуры с песчаным покрытием ROCKBAR. Данные о принятой маркировке и продольном армировании сечений образцов балок приведены 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 ²		Примечание
		Растянут. зона	Сжат. зона	
		A_{st} / A_{ft}	A_{sc}	
БМ1; БМ2		0,503 / 0,000	0,283	Исходное металлическое армирование
БС1; БС2		0,442 / 0,000	0,283	Полимеркомпозитное армирование

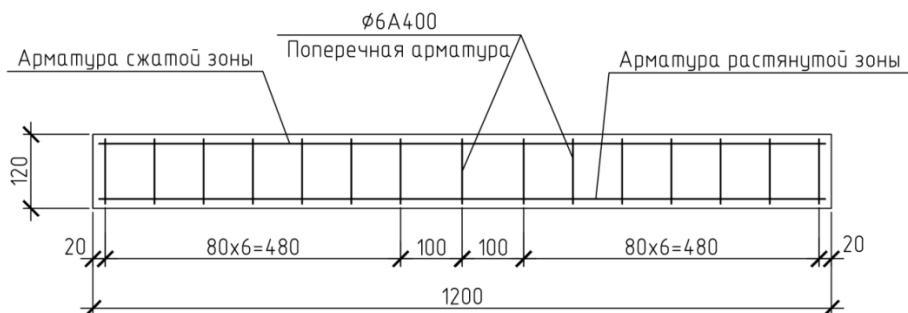


Рис. 1. Схема поперечного армирования образцов балок

Из-за невозможности сварки стальных и стеклопластиковых стержней их соединения в плоских каркасах выполнялись при помощи вязальной оцинкованной проволоки диаметром 0,9 мм (рис. 2, а).

Образцы балок были изготовлены из тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В30 и до испытаний выдержаны 28 суток при нормальных условиях твердения.

Общий вид образцов балок при испытаниях показан на рис. 2, б.

Схема опирания и нагружения образцов (рис. 3) – балка, свободно опертая по двум сторонам и нагруженная двумя кратковременно приложенными сосредоточенными нагрузками с образованием в пролете зоны чистого изгиба $l/4$ (l – расстояние между опорами).

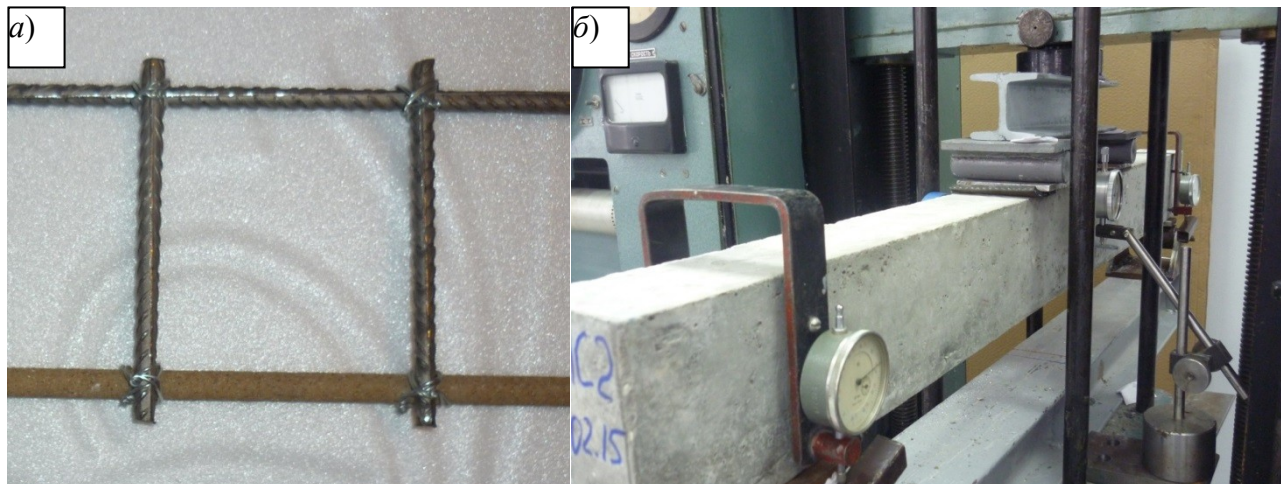


Рис. 2. Соединения стержней арматуры вязальной проволокой (а) и общий вид образцов балок при испытаниях (б)

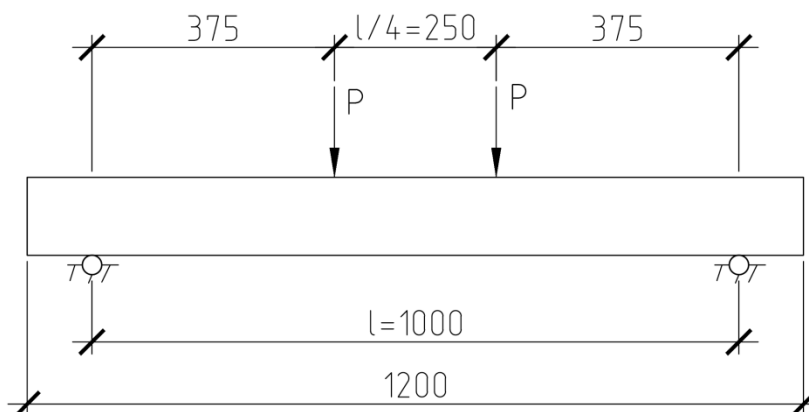


Рис. 3. Схема опирания и нагружения образцов балок

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. Также у образцов балок, за исключением БС2, не удалось анализировать характер изменения относительных деформаций

бетона сжатой зоны в связи с неполадками датчика ИЧ-1 при испытаниях.

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

Характер трещинообразования и разрушения образцов балок показан на рис. 4.

Испытаниями установлено, что у эталонных железобетонных балок в растянутой зоне первые нормальные трещины появляются при нагрузке равной 31 % от разрушающей. Второй этап их появления соответствует нагрузке 40–41 % от разрушающей. В дальнейшем, до разрушения балок идет раскрытие и развитие только нормальных трещин, появившихся на первых этапах, без образования наклонных трещин. Количество трещин у образцов БМ1 и БМ2 равно 7. Они расположены на расстоянии 85–100 мм друг от друга. Разрушение обоих образцов балок сопровождалось выкрашиванием бетона сжатой зоны (разрушение по бетону). Значения прогибов таких балок в середине пролета при нагрузке равной разрушающей находятся в диапазоне $(1/69-1/72) l$.

В ходе испытаний образцов балок со стеклопластиковой арматурой 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. Разрушение по наклонному сечению не наблюдалось в схожих исследованиях [7, 8]. Данное явление может быть объяснено выключением из работы стержней поперечной арматуры и малым модулем упругости продольной стеклопластиковой арматуры, и как следствие повышенной деформативностью образцов. У обеих балок образовалось по 7 трещин, расстояния между которыми находятся в диапазоне 75–105 мм.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов балок на изгиб

Параметр исследования	Маркировка образцов балок			
	БМ1	БМ2	БС1	БС2
Разрушающая нагрузка P_u , кН	16.58	17.17	14.52	15.11
Нагрузка при образовании первой трещины P_{cr} , кН	5.12	5.32	3.92	3.98
Нагрузка при $f = l/120$, кН	16.29	16.74	10.39	10.04
Прогиб при нагрузке P_u , мм	13.95	14.46	15.97	16.98
Прогиб при нагрузке $0.67P_u$, мм	2.60	3.08	7.28	8.16
Предел. относит. деформация сжатой зоны бетона ϵ_{bu}	-	-	-	0.00265
Количество трещин, шт.	7	7	7	7
Максимальная высота развития трещин, мм	101	103	103	104
Максимальная ширина раскрытия трещин, мм	-	-	-	-
Характер разрушения	Разрушение по нормальному сечению с выкрашиванием бетона сжатой зоны		Разрушение по наклонному сечению	



Рис. 4. Характер трещинообразования и разрушения образцов балок соответственно сверху вниз BM1, BM2, BC1 и BC2

Среднее значение разрушающей нагрузки образцов балок со стеклопластиковой арматурой на 13,9 % меньше эталонных железобетонных. Стеклопластиковая арматура при разрушении балок работает в условиях среза, что приводит к глубоким повреждениям бетона нижней растянутой грани.

Прогибы в середине пролета балок BC1 и BC2 в момент их разрушения находятся в диапазоне значений $(1/58-1/62) l$ и на всех этапах деформирования выше, чем у балок со стальной арматурой. Так, при значении нагрузки $0,67P_u$ прогибы приблизительно больше в 2,4–3,1 раза. Деформативность балок со стеклопластиковой арматурой резко увеличивается сразу после появления нормальных или наклонных трещин.

При максимально допустимом относительном прогибе обычных балок, в соответствии с СП 20.13330.2011 равном $1/120$ от величины пролета l , предельная нагрузка опытных балок со стеклопластиковой арматурой снижается в 1,4–1,5 раза, что на 39 % меньше соответствующего среднего значения эталонных образцов. Таким образом, на несущую способность этих балок гораздо большее влияние оказывает не прочность полимеркомпозитной арматуры, а ее малый (порядка 50 ГПа) модуль упругости.

Выводы. На основании результатов проведенных испытаний следует отметить, что образцы балок со стеклопластиковой арматурой, по

сравнению с эталонными железобетонными образцами, способны воспринимать меньшую нагрузку, обладают меньшей жесткостью и трещиностойкостью. Поэтому предлагается стержневую стеклопластиковую арматуру в растянутой зоне армобетонных балок использовать совместно со стальной арматурой. Особенности работы таких конструкций будут определены и изучены автором в ходе дальнейших экспериментально-теоретических исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уманский А.М., Беккер А.Т. Перспективы применения композитной арматуры // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2012. № 2 (11). С. 7–13.
2. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 45–47.
3. Лапшинов А.Е. Исследование работы СПА и БПА на сжатие // Вестник МГСУ. 2014. № 1. С. 52–57.
4. Фролов Н.В., Никулин А.И., Обернихин Д.В., Лапшин Р.Ю. Исследование свойств композитной арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон // Вестник Белгородского государственного

технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 18–21.

5. Низин Д.Р., Ошкина Л.М., Селяев В.П., Чернов А.Н.. Щелочестойкость эпоксидных композитов с повышенными реологическими характеристиками // Огарёв-Online. 2015. № 13 (54). С. 7.

6. Есипов С.М. Анализ методик проектирования усиления железобетонных конструкций композитными материалами // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 114–118.

7. Антаков А.Б., Антаков И.А. Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 3. С. 7–13.

8. Селяев В.П., Соловьев А.А., Парамонов Р.Н., Алимов М.Ф., Шабает И.Н. Работа балок, армированных композитной стеклопластиковой арматурой // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 67–73.

Frolov N.V.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH GLASS-PLASTIC BARS IN TENSIONED AREA

Results of bend test of the reinforced concrete beam samples with glass plastic bars in tensioned area are given in the article. In an effort of comparative analysis reinforced concrete, the similar beams with steel bars, which are considered as standard samples, were also tested. It was determined, that the samples with glass-plastic bars have lower strength, rigidity, and crack resistance. These beams were collapsing by inclined section. This fact is explained by exhausting of shear reinforcement resistance and high deformability of beams because of low value of coefficient of elasticity of glass-plastic reinforcement. As a result of this, it's rational to use combination of glass-plastic reinforcement with steel reinforcement in tensioned area of reinforced concrete beams.

Key words: *glass-plastic reinforcement, reinforced concrete beam, ultimate load, normal and inclined cracks.*

Фролов Николай Викторович, аспирант 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