

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ
ИЗГИБАЕМЫХ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, АРМИРОВАННЫХ
СТАЛЬНЫМИ И СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМИ СТЕРЖНЯМИ,
ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ***

К.Л. Кудряков, В.С. Плевков

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

E-mail: konstant.yakov@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены экспериментальные исследования прочности и деформативности изгибаемых бетонных элементов с композитной и стальной стержневой арматурой. В качестве композитной арматуры использованы стеклопластиковые стержни с диаметром 6 и 10 мм. Описана конструкция и схема испытания экспериментальных образцов на изгиб статической нагрузкой. В результате исследований получены схемы разрушения и трещинообразования, а также значения разрушающей нагрузки и максимальных прогибов элемента в середине пролета. Проведено сопоставление полученных экспериментальных данных между собой.

Ключевые слова: стеклопластик; композитные; стержни; волокна; изгибаемые; элементы; статическое; испытание; прочность; деформативность.

На современном уровне научно-технического развития появились новые специфические требования к строительным конструкционным материалам: помимо прочностных и деформационных характеристик материалов особое внимание стало уделяться коррозионной стойкости, электро-, магнито- и радиопроводимости. Данные требования предъявляются при строительстве зданий и сооружений энергетической, оборонной, авиационной, космической, медицинской и дорожно-строительной отраслей. При этом основным конструкционным материалом является железобетон, который не отвечает вышеназванным требованиям [1].

Возможным вариантом решения данной проблемы является использование неметаллических композитных стержней в качестве арми-

* Данные исследования выполнены при финансовой поддержке работ по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

рования бетонных конструкций. Неметаллические арматурные стержни обладают малым удельным весом, высокими прочностными характеристиками, коррозионной стойкостью, диэлектрическими свойствами, а также магнитоинертностью и радиопрозрачностью. Однако, у данных материалов имеются и недостатки, которые существенно ограничивают области их применения: относительно высокая деформативность, низкая огнестойкость, отсутствие устойчивой технологии преднапряжения. К тому же обширное применение композитной арматуры в строительстве в России затруднено в связи с отсутствием нормативной и проектной документации, а также неоднозначности полученных результатов исследований данной арматуры и бетонных конструкций с ее использованием. Таким образом, вопросы проектирования, расчета и применения бетонных конструкций, армированных неметаллическими композитными материалами, являются весьма актуальными [1–3].

Для определения прочности и деформативности изгибаемых бетонных элементов, армированных стеклопластиковой арматурой, были проведены экспериментальные исследования. В рамках исследований были запроектированы и изготовлены изгибаемые элементы, геометрические размеры и конструкция которых представлены на рис. 1. Параметры экспериментальных образцов приведены в табл. 1.

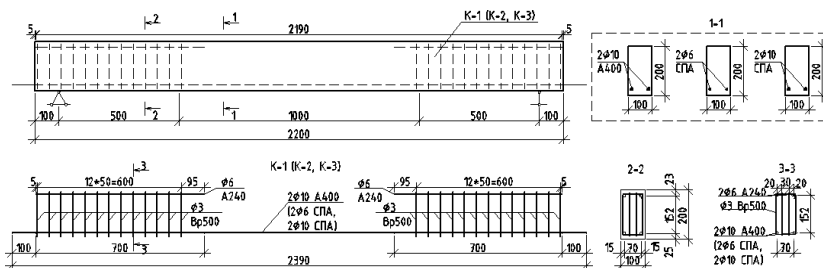


Рис. 1. Конструкция экспериментальных изгибаемых элементов

В качестве армирования использованы композитные стеклопластиковые стержни марки «MONSTEROD» с наружным диаметром 6 и 10 мм (производитель ООО «Нанотехнологический центр композитов», г. Москва). Стеклопластиковые стержни имели ребристую

Секция 2

поверхность для сцепления с бетоном. Для проведения сопоставления также были изготовлены железобетонные элементы аналогичной конструкции с использованием стальной арматуры класса А400 с диаметром 10 мм.

Таблица 1

Параметры экспериментальных образцов

Шифр образца	Описание	μ , %	ξ (по СП 63.13330.2012)	Масса образца, кг
ЖБ10	Стальные стержни А400, 2 \varnothing 10 мм	0,897	0,119	114,7
СПА6	Стеклопластиковые стержни, 2 \varnothing 6 мм	0,302	0,115	109,7
СПА10	Стеклопластиковые стержни, 2 \varnothing 10 мм	0,827	0,317	109,2

Предварительные экспериментальные исследования прочности и деформативности стеклопластиковых стержней на растяжение показали, что данная арматура обладает высоким показателем прочности на растяжение (до 1200 МПа), при этом продольные деформации стержней находятся в пределе от 2 до 3 %, а модуль упругости составляет 35–45 ГПа. Однако данные характеристики зависят от фирмы – производителя. Удельный вес данной арматуры равен 1,95 г/см³, что при замене стальной арматуры на композитную позволяет уменьшить общую массу конструкций на 5 %.

Экспериментальные исследования прочности и деформативности изгибаемых элементов проводились на специальном стенде (рис. 2). Испытания проводились ступенчатой статической нагрузкой по схеме однопролетной шарнирно-опертой балки (рис. 3, а). Во время испытания фиксировались разрушающая нагрузка и величины прогибов. Проскальзывание арматурных стержней фиксировалось установленными на выпусках индикаторами часового типа.

В результате испытаний были получены характерные схемы трещинообразования и разрушения изгибаемых бетонных элементов, армированных стальными (рис. 3, б), стеклопластиковыми стержнями \varnothing 6 мм (рис. 3, в) и стеклопластиковыми стержнями \varnothing 10 мм (рис. 3, г). Анализ схем разрушения и трещинообразования показал, что разруше-

Перспективные материалы в строительстве и технике (ПМСТ-2014)

ние элементов происходило по сечению, нормальному к продольной оси балок с образованием магистральной трещины в пределах зоны чистого изгиба. В ходе испытаний проскальзывания в теле бетона стальных и стеклопластиковых стержней не выявлено. Основные результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 2.



Рис. 2. Общий вид испытания образцов

В таблицах использованы следующие условные обозначения: μ – процент армирования поперечного сечения изгибаемого бетонного элемента; ξ – относительная высота сжатой зоны бетона изгибаемого элемента; F_i – действующее усилие; F_{ult} – расчетное предельное усилие, воспринимаемое элементом; F_{max} – фактическое предельное усилие

Секция 2

лие, воспринимаемое элементом; M_{\max} – предельный изгибающий момент, воспринимаемый нормальным сечением элемента; $a_{cr,c,i}$ – ширина раскрытия нормальных трещин при действующем усилии; f_i – прогиб элемента при действующем усилии; f_{\max} – максимальный прогиб элемента в середине пролета [4].

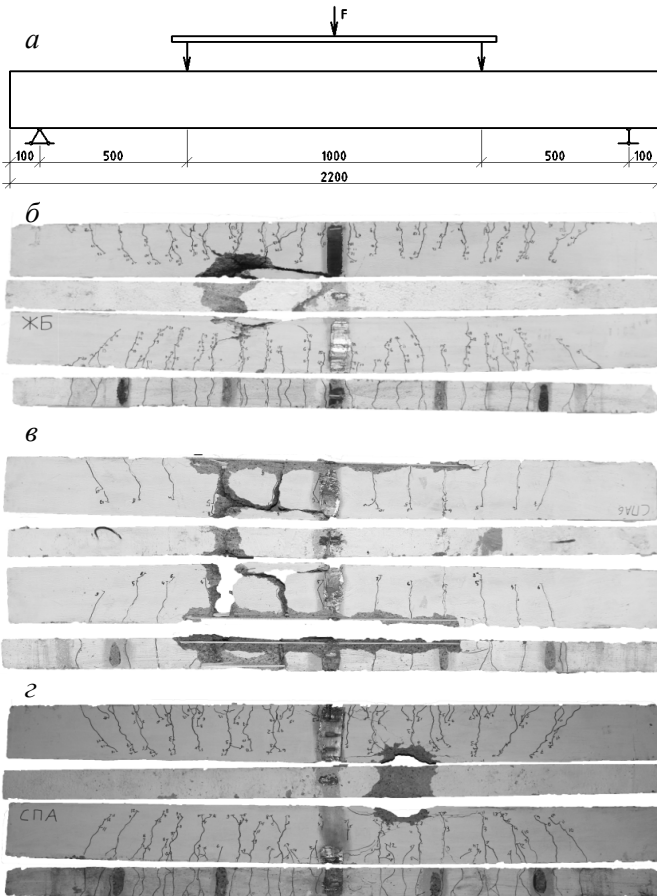


Рис. 3. Испытание изгибаемых элементов статической нагрузкой: схема испытания (а); характерные схемы разрушения и трещинообразования изгибаемых элементов, армированных стальными (б), стеклопластиковыми $\varnothing 6$ (в) и $\varnothing 10$ (з) стержнями

Результаты экспериментальных исследований

Шифр образца	При $F_i = F_{ult} = 41,3$ кН		F_{max} , кН	M_{max} , кН·м	f_{max} , мм
	$a_{срc,i}$, мм	f_i , мм			
ЖБ10	0,1	7,7	61,2	15,3	12,8
СПА6	1,8	37,1	64,4	16,1	64,5
СПА10	1,15	31,1	67,2	16,8	52,1

По результатам испытаний было отмечено, что при замене стальных стержней стеклопластиковыми происходит увеличение несущей способности изгибаемого бетонного элемента при статическом воздействии до 5–10 %. В то же время возрастает деформативность в 4–5 раз по сравнению с железобетонным элементом, однако, после снятия нагрузки с элементов, армированных стеклопластиковыми стержнями, происходит восстановление первоначальной геометрии элементов. Повышенная деформативность изгибаемых элементов, армированных композитными стержнями, может благоприятно влиять на несущую способность и живучесть изгибаемых элементов, подвергнутых динамическому нагружению, что требует дополнительных исследований.

При нагрузке $F_i = F_{ult}$ в элементах, армированных стеклопластиковыми стержнями, возникают недопустимые нормами прогибы и ширина раскрытия трещин, что свидетельствует о необходимости преднапряжения данной арматуры при использовании ее в изгибаемых конструкциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанова, В.Ф. Арматура композитная полимерная / В.Ф. Степанова, А.Ю. Степанов, Е.П. Жирков. – М. : Изд-во АСВ, 2013. – 200 с.
2. Исследование прочности и деформативности бетонных плит сплошного сечения, армированных стальными и композитными стержнями/ А.И. Григорьев, К.Л. Кудяков, А.В. Невский [и др.] // Молодая мысль: Наука. Технологии. Инновации: матер. VI Всероссийской конф. – Братск : ГОУ ВПО «БРГУ», 2014. – С. 103–105.
3. Varma, M.V. Flexural Strength of Concrete Beam Reinforced with GFRP Rebar / M.V. Varma, R.S. Pujari // International Journal of Earth Sciences and Engineering. – Vol. 04. – № 06 SPL. – P. 994–996.
4. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01–2003. – М. : НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2012. – 161 с.