

УДК 691.328.43

Алексей Олегович Клементьев, аспирант кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург,
 Дмитрий Николаевич Смердов, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург,
 Михаил Николаевич Смердов, старший преподаватель кафедры «Путь и железнодорожное строительство» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, АРМИРОВАННЫХ В СЖАТОЙ И РАСТЯНУТОЙ ЗОНЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ АРМАТУРОЙ

UDC 691.328.43

Alexey Olegovich Klementyev, graduate student, Department of Bridges and Tunnels, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg,
 Dmitriy Nikolayevich Smerdov, PhD in Engineering, Senior Lecturer, Department of Bridges and Tunnels, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg,
 Mikhail Nikolayevich Smerdov, Senior Lecturer, Department of Railway Construction and Railway Track, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg

Experimental studies of the strength and deformability of bending concrete members with nonmetallic composite reinforcement in compression and tension zone

Аннотация

Проведены экспериментальные исследования прочности и деформативности железобетонных балок с неметаллической композитной арматурой. Представлены результаты экспериментальных данных, проведен анализ и сравнение с расчетными характеристиками исследуемых образцов. Сделан сравнительный анализ результатов, полученных при испытании балок, армированных металлической арматурой, с результатами экспериментальных данных балок, армированных композиционной арматурой трех видов.

Отклонение экспериментальных данных от результатов расчета методом предельных состояний по СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» для балок с металлической арматурой равняется 4,04% и варьируется от 10,84% для арматуры на основе волокон из углепластика до 20,71% для арматуры на основе волокон из стеклопластика тип 1. Разница между экспериментально полученными значениями и теоретическими, особенно для стеклопластиковой арматуры тип 1, достаточно большая. Это связано с тем, что расчет выполнялся по существующей методике для железобетонных конструкций, армированных металлической арматурой, без учета условий работы материала.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, результаты, композитная арматура, железобетонная балка, прочность, деформативность.

Summary

Experimental studies of strength and deformability of concrete beams with non-metallic composite reinforcement have been conducted. The experimental data are presented, analysis and comparison of samples with design characteristics has been carried out. Test results of beams with metal reinforcement have been compared with experimental data of beams reinforced with composite elements of three types.

Deviation of the experimental data from limit state design parameters according to SP 35.13330.2011 «Bridges and Pipes» for beams with metal reinforcement equals 4.04% and varies from 10.84% for carbon fiber-based reinforcement to 20.71% for fiberglass-based reinforcement, type 1. The difference between the experimental and theoretical values, especially for fiberglass reinforcement, type 1, is quite significant. This is due to the fact that the theoretical values have been calculated using the existing method for concrete structures with metal reinforcement, without regard to operating conditions of the material.

Keywords: experimental research, results, composite rebar, reinforced concrete beam, strength, deformability.

Применение в железобетонных изделиях неметаллической композиционной арматуры по сравнению с традиционным материалом — металлом — имеет ряд преимуществ, таких как небольшой собственный вес, стойкость к влажным и агрессивным средам, низкий показатель теплопроводности, свойства, типичные для диэлектриков, стойкость к ультрафиолетовому излучению [1]. Повышение требований к обеспечению безопасности движения автомобильного транспорта по искусственным дорожным сооружениям, рост интенсивности движения и, как следствие, подвижной нагрузки на сооружения приводят к необходимости увеличения несущей способности балок и опор пролетных строений мостовых дорожных сооружений [2]. Внедрение нового сверхпрочного материала в несущие элементы мостов сдерживается отсутствием нормативно-технической базы по расчету и конструированию, методики расчета таких изделий и отечественных экспериментальных исследований. Действующий СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» [3] не запрещает использование композиционной арматуры в качестве рабочей при выполнении необходимых расчетов. В настоящее время в НИИЖБ (д-р техн. наук, проф. В. Ф. Степанова, канд. техн. наук Г. М. Красовская) совместно с ООО «АСП» (канд. техн. наук С. В. Шахов) и ООО «МБА-проект» (В. В. Беленчук) разработаны технические рекомендации по применению неметаллической композиционной арматуры периодического профиля в бетонных и железобетонных конструкциях. На основании результатов проведенных исследований рекомендуется использование базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры: для армирования бетонных конструкций и смешанного армирования железобетонных конструкций; в армированных конструкциях, подверженных воздействию агрессивных сред (согласно СНиП 2.03.11-85 и МГСН 2.08-01), вызывающих коррозию стальной арматуры. Целесообразно применение базальтопластиковой и стеклопластиковой арматуры в элементах дорожного строительства, которые подвергаются агрессивному воздействию противогололедных реагентов; при ремонте железобетонных конструкций, поврежденных воздействием агрессивных, в первую очередь хлоридных сред; в случаях, когда отсутствует возможность обеспечить нормативные требования к толщине защитного слоя; в бетонах на шлакопортландцементе, пуццолановом цементе, смешанных вяжущих

с высоким содержанием активных минеральных добавок; в монолитных бетонах с хлоридсодержащими противоморозными добавками; в пористых и крупнопористых бетонах, легких и ячеистых бетонах, в том числе при монолитном строительстве; при армировании кирпичной кладки [4].

В Уральском государственном университете путей сообщения (УрГУПС) проведены экспериментальные исследования, целью которых было изучение прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов, армированных в сжатой и растянутой зоне неметаллической композиционной арматурой на основе стеклопластиковых волокон двух видов, отечественного и зарубежного изготовителя, и углепластиковых волокон одного вида. Образцы с композиционной арматурой сравнивались с образцами с металлической арматурой, площадь сечения рабочей арматуры была одинакова. В качестве опытных образцов взяты железобетонные балки полной длиной 1550 мм, прямоугольного поперечного сечения шириной 120 и высотой 220 мм. Проектный класс бетона всех балок по прочности — В30, морозостойкости — F300, водонепроницаемости — W6. Элементы арматурного каркаса расположены с учетом требований [5]. В качестве продольных элементов пространственного арматурного каркаса использовались металлическая, неметаллическая композиционная арматура на основе стеклянных волокон двух видов и неметаллическая композиционная арматура одного вида на основе углеродных волокон. Площадь сечения рабочей арматуры во всех образцах была одинакова. Образцы делились согласно виду композитной арматуры. Серией УП маркировались образцы с неметаллической композитной арматурой на основе углеродных волокон FibARM Rebar, серией СП1 — образцы с неметаллической композитной арматурой на основе стеклянных волокон первого типа, серией СП2 — образцы с неметаллической композитной арматурой на основе стеклянных волокон второго типа. Всего было испытано 12 железобетонных балок, армированных металлической арматурой класса АIII Ø10 мм и неметаллической композиционной арматурой трех видов Ø10 мм, по три балки с каждым видом армирования. Поперечное армирование балок выполнялось металлической арматурой класса АI Ø6,5 мм. Конструкция образцов с основными размерами, пространственный арматурный каркас и результат бетонирования балок представлены на рис. 1 и 2.

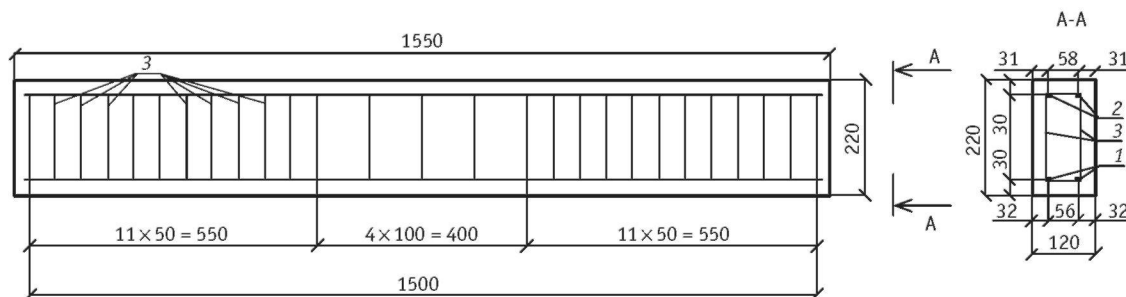


Рис. 1. Конструкции основных и контрольных образцов:

- 1 — неметаллическая композиционная арматура Ø10 мм; 2 — неметаллическая композиционная арматура Ø8 мм; 3 — поперечная металлическая арматура (хомуты) класса АI Ø6,5 мм



Рис. 2. Пространственный арматурный каркас и результат бетонирования балок

Испытания образцов на прочность проводились по схеме однопролетной балки. Расчетный пролет балок 1265 мм. Для эффекта чистого изгиба в середине пролета нагрузка на балку передавалась через распределительную траверсу, установленную на двух опорах с межосевым расстоянием 365 мм. Прогиб балки в середине пролета фиксировался на каждом этапе нагружения при помощи тензометрического датчика перемеще-

ния. Нагрузка прикладывалась ступенями по 500 кг со средней скоростью нагружения 100 кг/мин. Значение испытательной нагрузки на балку фиксировалось тензометрическим динамометром (месдозой). На рис. 3 представлена схема установки приборов при проведении испытаний [6].

В настоящее время схемы разрушения бетонных образцов, армированных неметаллической композитной арматурой, практически не изучены. В соответствии с методикой эксперимента образцы серий УП, СП1 и СП2 испытывались до полной потери ими несущей способности, т. е. до наступления предельного состояния. Разрушение таких образцов происходило в результате разрыва композитной арматуры в растянутой зоне (рис. 4), при этом были определены предельные параметры по величине раскрытия трещин в бетоне и прогибов балок в момент наступления предельного состояния.

Образцы серии А разрушались по классической схеме разрушения изгибаемых железобетонных элементов по бетону сжатой зоны при средней нагрузке из трех испытаний 7,91 т (табл. 1). Первые трещины раскрытием 0,05 мм появлялись при нагрузке 3,2 т. Максимальный прогиб в середине пролета составил 18 мм. Вид балки с трещинами представлен на рис. 5а. На графике «прогиб — нагрузка» образцов серии А имеются две характерные зоны: роста упругих деформаций и роста неупругих деформаций при мало изменяющейся нагрузке (рис. 6).

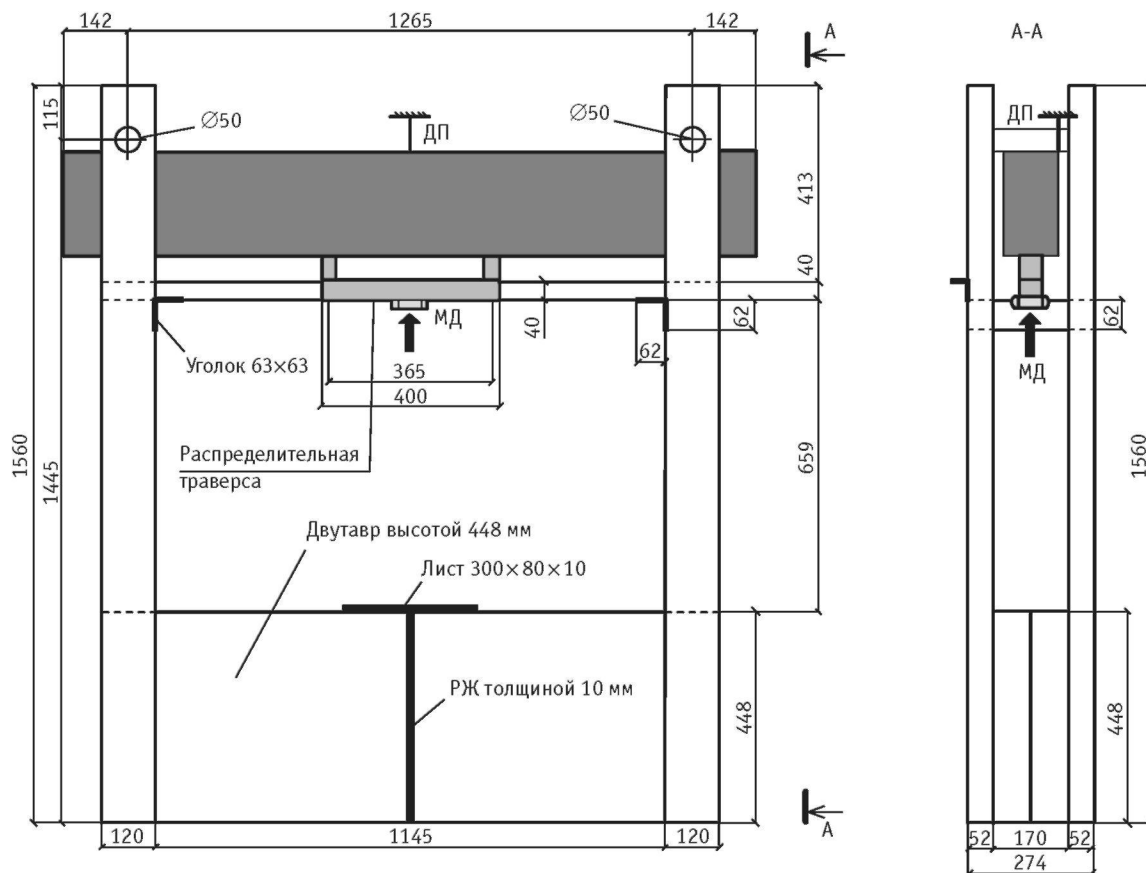


Рис. 3. Силовой измерительные устройства, схема установки приборов при проведении испытаний



Рис. 4. Вид образцов до и после испытания на прочность:
а — серия СП1; б — серия СП2; в — серия УП; г — серия А

Таблица 1

Экспериментальные данные

Серия балок	Номер образца	Несущая способность по данным		
		эксперимента		расчета методом предельных состояний
		P , т	$P_{ср}$, т	
А	1	7,37	7,91	7,54
	2	8,12		
	3	8,24		
УП	1	21,29	21,34	19,02
	2	21,62		
	3	21,08		
СП1	1	14,30	14,16	11,73
	2	13,12		
	3	15,06		
СП2	1	9,89	10,39	11,54
	2	12,26		
	3	9,04		

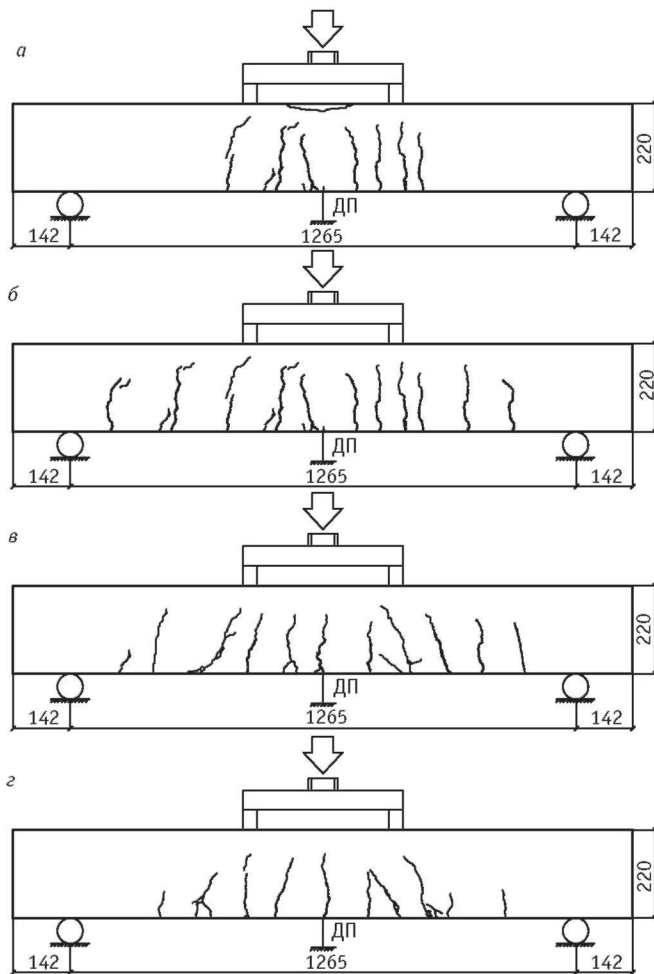


Рис. 5. Вид образцов с трещинами:
а — серия А; б — серия СП1; в — серия СП2; г — серия УП

Образцы серий СП1 и СП2 разрушались вследствие разрыва рабочей арматуры и отслоения защитного слоя бетона в сжатой зоне при средней нагрузке 14,16 и 10,39 т соответственно (см. табл. 1). Первые трещины раскрытием 0,05 мм появлялись при нагрузках 2,54 и 2,75 т. Максимальные прогибы балок составили до 100 мм. Вид балок с трещинами представлен на рис. 5б, в.

Образцы серии УП разрушались вследствие разрыва рабочей арматуры и отслоения защитного слоя бетона в сжатой зоне при средней нагрузке из трех испытаний 21,34 т (см. табл. 1). Первые трещины раскрытием 0,05 мм появлялись при нагрузке 3,4 т. Максимальный прогиб балок составил 88,54 мм. Несущая способность по сравнению с образцами серии А увеличилась на 270%. Вид балки с трещинами представлен на рис. 5 г.

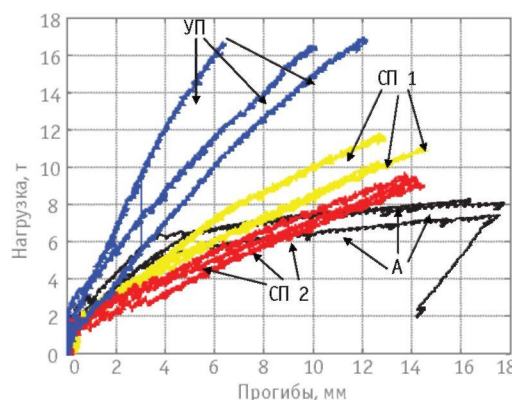


Рис. 6. Графики изменения прогиба образцов серий А, УП, СП1 и СП2 под нагрузкой

Результаты испытаний показали, что прочность и деформативность бетонных образцов серии УП с композитной арматурой на основе углеродных волокон FibARM Rebar значительно выше, в среднем на 151–185%, по сравнению с бетонными образцами серий СП1 и СП2, армированных композитной арматурой на основе стеклянных волокон, и на 260% выше, чем образцов с металлической арматурой класса АIII Ø10 мм, при равной площади поперечного сечения рабочей арматуры. Экспериментальные исследования позволили сделать вывод, что применение композиционной арматуры на основе углеродного волокна возможно, так как наряду с высокими прочностными характеристиками она имеет модуль упругости не ниже, чем металлическая арматура.

Литература

1. Клементьев А. О., Смердов М. Н. Опыт применения неметаллической композитной арматуры в железобетонных пролетных строениях мостов // Вестник УрГУПС. 2013. № 4 (20). С. 74–80. ISSN 2079-0392.
2. Смердов Д. Н. Оценка несущей способности железобетонных пролетных строений мостов, усиленных композитными материалами : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск : СГУПС, 2010. 159 с.
3. СП 35.13330.2011 СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. М. : ЦНИИС, 2011. 340 с.
4. Технические рекомендации по применению неметаллической композиционной арматуры периодического профиля в бетонных конструкциях. М. : ОАО «НИЦ «Строительство», 2012. 7 с.
5. СП 63.13330.2010* СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Электронный ресурс]. URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200095246> (дата обращения: 23.09.2014).
6. Экспериментальные исследования при пониженных и повышенных температурах железобетонных образцов, усиленных полимерными композиционными материалами / С. А. Бокарев, А. Н. Костенко, Д. Н. Смердов и др. // НАУКОВЕДЕНИЕ. 2013. № 3. 9 с.

References

1. Klementev A. O., Smerdov M. N. Opyt primeneniya nemetallicheskoj kompozitnoj armatury v zhelezobetonnykh proletnykh stroeniyakh mostov [Evaluation of load carrying capacity of composite fiber reinforced concrete spans] // Vestnik UrGUPS. 2013. № 4 (20). S. 74–80. ISSN 2079-0392.
2. Smerdov D. N. Otsenka nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy mostov, usilennykh kompozitnymi materialami : dis. ... kand. tekhn. nauk [Evaluation of bearing capacity of composite reinforced concrete bridge spans : PhD in Engineering Thesis]. Novosibirsk : SGUPS, 2010. 159 s.
3. SP 35.13330.2011 SNiP 2.05.03-84*. Mosty i truby [Bridges and Pipes]. M. : TsNIIS, 2011. 340 s.
4. Tekhnicheskie rekomendatsii po primeneniyu nemetallicheskoj kompozitsionnoy armatury periodicheskogo profilya v betonnykh konstruktivnykh [Guidelines for the use of non-metallic composite reinforcement with periodic profile in concrete structures]. M. : OAO «NITs «Stroitelstvo», 2012. 7 s.
5. SP 63.13330.2010* SNiP 52-01-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktivnyye. Osnovnyye polozheniya [Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions]. [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095246> (date accessed: 23.09.2014).
6. Eksperimentalnye issledovaniya pri ponizhennykh i povyshennykh temperaturakh zhelezobetonnykh obratstov, usilennykh polimernymi kompozitsionnymi materialami [Experimental studies of concrete specimens reinforced with polymer composite materials at low and high temperatures] / S. A. Bokarev, A. N. Kostenko, D. N. Smerdov i dr. // NAUKOVEDENIE. 2013. № 3. 9 s.