УДК 692.4

А.Е. Лапшинов
НИУ МГСУ

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕЙ НЕНАПРЯГАЕМОЙ В СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Дан анализ возможности применения стеклокомпозитной неметаллической арматуры в сжатых бетонных элементах. Приведены результаты сравнения исследований прочности и деформативности с высокопрочными композитной и стальной (класса А800) рабочими арматурами в нашей стране и за рубежом. Даны предложения по дальнейшим исследованиям композитной арматуры в качестве продольной в сжатых элементах.

Ключевые слова: композитная арматура, прочность на сжатие, модуль упругости, предел текучести, испытания

Железобетонные сжатые элементы являются основными несущими вертикальными конструкциями зданий и сооружений различного назначения, воспринимающими нагрузку от перекрытий и покрытий, передающих ее на фундамент и далее на грунты основания. Поэтому они наряду с надежностью должны обладать высокими экономическими показателями и коррозионной стойкостью, что в немалой степени зависит от используемых материалов и методик расчета. Перспективы развития железобетона неразрывно связаны с применением как новых материалов, так и их комбинации с уже зарекомендовавшими себя традиционными материалами [1]. Наряду с этим, идет оптимизация уже зарекомендовавших себя конструктивных решений железобетонных конструкций [2, 3].

Арматура в железобетонных конструкциях используется преимущественно для восприятия растягивающих усилий и усиления бетона сжатых зон конструкций. Поэтому в нормативном документе по проектированию железобетонных конструкций [4] назначаются нормативные и расчетные характеристики арматуры на растяжение и сжатие. Работа арматуры на растяжение определяется ее физико-механическими характеристиками (предел текучести и модуль упругости), получаемыми при испытаниях.

Расчетное сопротивление арматуры сжатию определяется в большей степени предельной сжимаемостью бетона $\varepsilon_{bu} = 2 \cdot 10^{-3}$. Предельная сжимаемость бетона зависит от прочности бетона, его класса, состава и длительности приложения нагрузки. С увеличением класса бетона предельные деформации уменьшаются, однако с ростом длительности приложения нагрузки они увеличиваются.

Поскольку благодаря сцеплению арматура деформируется совместно с бетоном $\varepsilon_{sc} = \varepsilon_{bu}$, то предельные напряжения в ней определяются по формуле (Закон Гука)

$$\sigma_{sc,u} = \varepsilon_{sc} E_s = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5 = 400 \text{ МПа}, \quad (1)$$

где E_s — модуль упругости стали. Следовательно, расчетное сопротивление стальной арматуры будет равно $R_{sc} = 400$ МПа, что и принято в современных нормах проектирования [4].

Если приложенная нагрузка действует длительно, то за счет ползучести бетона предельная сжимаемость возрастает, поэтому расчетное сопротивление арматуры сжатию можно увеличить до 500 МПа, хотя фактические сжимающие напряжения могут достичь и больших значений. При этом, разумеется, расчетное сопротивление не может превышать расчетного предела текучести стали, т.е. $R_{sc} < R_s$. Из вышесказанного можно заключить, что в качестве сжатой арматуры при длительном воздействии лучше подходит стальная арматура классов как А500, так и А600. Сопротивление сжатию арматуры более высоких классов (А800, А1000) оказывается недоиспользованным. Можно отметить, что указанные расчетные значения предельной деформативности бетона ε_{bu} приняты в нормах одинаковыми для бетона всех классов. Однако на самом деле со снижением класса бетона его деформативность увеличивается, вместе с этим возрастут и ε_{bu} и, следовательно, увеличится предельное напряжение для арматуры.

Известно, что если в сжатом элементе установить поперечную арматуру, способную эффективно сдерживать поперечные деформации, то этим можно существенно увеличить его несущую способность. Опытами установлено, что бетон имеет повышенное сопротивление сжатию в пределах ядра, заключенного внутри поперечной арматуры, по аналогии с трубобетоном. При сжатии гибкие арматурные стержни стремятся потерять устойчивость (выпучиться) задолго до исчерпания предела прочности и оторвать защитный слой бетона, что может вызвать преждевременное разрушение конструкций. Для предотвращения данного опасного явления необходимо устанавливать поперечную арматуру (хомуты). Поперечная арматура подобно обойме сдерживает поперечные деформации бетона, возникающие при продольном сжатии, и тем обуславливает повышенное сопротивление бетона продольному сжатию, в т.ч. и после появления в нем первых продольных трещин. Бетон в пределах ядра сопротивляется внешним воздействиям даже после отслаивания наружного слоя бетона и до тех пор, пока в поперечной арматуре напряжения не достигнут предела текучести. Продольные деформации элементов, усиленных косвенной арматурой, очень велики и тем больше, чем сильнее поперечное армирование.

Работы некоторых исследователей показали [5—7], что при наличии определенного количества поперечной арматуры можно добиться ограничения поперечных деформаций в бетоне, а следовательно, и увеличения продольных деформаций согласно закону Пуассона, что, соответственно, приведет к увеличению предельных напряжений в сжатой арматуре. Так, было доказано, что при использовании достаточного количества поперечной арматуры в качестве сжатой можно использовать арматуру классов Ат800 (Ат-V) с напряжениями до предела текучести. Полученные исследования помогли внедрить высокопрочную стальную арматуру класса Ат800 в реальные конструкции (колонны, выпускаемые на заводе ОАО «Моспромжелезобетон»).

Композитная арматура обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционной стальной арматурой. Это низкий вес, высокая прочность, неподверженность коррозии, прозрачность к магнитным полям. Недостатками такой арматуры являются низкий модуль упругости (в 4 раза по сравнению со стальной стержневой арматурой), хрупкость при разрушении (отсутствие предела текучести) и подверженность снижению прочности при действии больших температур.

Применение неметаллической композитной арматуры (в частности на основе стеклянных волокон) в качестве сжатой ненапрягаемой арматуры вместо традиционной стальной арматуры в железобетонных элементах повысит коррозионную стойкость сжатых элементов, эксплуатирующихся в агрессивных средах (резервуарах, силосах, морских сооружениях и др.). Это обеспечит экономический эффект за счет снижения эксплуатационных расходов, связанных с отсутствием необходимости в частом ремонте, усилении или замене конструкций из-за коррозии стальной арматуры. Стеклокомпозитная арматура (ввиду низкой стоимости по сравнению с другими видами неметаллической арматуры на нее приходится подавляющее большинство применения композитной арматуры) по стоимости сопоставима со стальной арматурой и вполне может быть использована как замена стальной в железобетонных конструкциях, эксплуатирующихся в агрессивных средах. В таблице приведены основные сравнительные характеристики традиционной стальной и неметаллической композитной арматуры.

Сравнительные характеристики стальной и стеклокомпозитной арматуры

Наименование показателя	A400 (A-III)	A500 (Aт-IIIС)	A600 (A-IV)	A800 (A-V)	A1000 (A-VI)	АСК
Предел текучести, МПа	400	500	600	800	1000	—
Временное сопротивление растяжению, МПа	500	600	740	1000	1200	1200
Относительное удлинение при растяжении, %	16	14	12	8	7	2,5
Модуль упругости при растяжении/сжатии, ГПа	200	200	200	200	200	50
	200	200	200	200	200	—*
Предел прочности при сжатии	400	500	600	800	1000	300*
Расчетное сопротивление сжатию	350	435 (400)	470 (400)	500 (400)	500 (400)	—

Примечание. Значение R_{sc} в скобках используют только при расчете на кратковременное действие нагрузок.

* — методика определения и требования к значению модуля упругости на сжатие не определены.

Однако экспериментальные данные по прочности и деформативности сжатых элементов, армированных композитной неметаллической арматурой практически отсутствуют. Поэтому нормы проектирования западных стран [8—11] либо не содержат методик расчета сжатых элементов с неметалличе-

ской арматурой, либо допускают ее применение, но с нулевым расчетным сопротивлением сжатию [12]. В нашей стране нормы проектирования конструкций с композитной арматурой еще не разработаны.

Также одной из проблем использования композитной арматуры является неопределенность в получении характеристик композитной арматуры на сжатие. За рубежом стандартных методов испытаний композитной арматуры на сжатие не существует в основном из-за множества различных видов характера разрушений [8]. Характер разрушения образцов может выражаться как в потере устойчивости всего образца, так и отдельных волокон. Для плоских листовых композитов многие методики испытаний на осевое сжатие представляют собой некоторого вида вариацию «Celanese compression tests», как в ASTM D3410 (2008) или ASTM D695—10 [13], относящийся к жестким пластикам. Данный метод предполагает тонкий прямосторонний образец, который очень похож на образец на центральное осевое растяжение, за исключением расстояния между захватами испытательной машины, которое значительно меньше. Испытания стержней композитной арматуры на сжатие обычно затрудняются появлением потери устойчивости волокон вследствие анизотропности и неоднородности композитного материала и приводят к неаккуратным результатам измерений. Ввиду этого стандартные методики испытаний за рубежом пока не установлены. Разные исследователи для композитных стержней предлагают различные величины снижения прочности на сжатие — в среднем от 30 до 50 % его прочности на растяжение [14, 15].

В РФ испытания стержней композитной арматуры на сжатие регламентируются введенным в действие с 2014 г. ГОСТ 31938—2012 [16]. Согласно методике, изложенной в Приложении В [17] образец для испытаний состоит из отрезка стержня, на концах которого на клеевом слое установлены испытательные муфты (рис.). Общая длина образца определяется конструкцией втулок. Длина рабочего участка стержня между втулками должна быть $6d$. Приспособление для испытания образцов на сжатие состоит из направляющей втулки, обеспечивающей возможность приложения нагрузки строго вдоль оси стержня, и двух испытательных муфт, установленных на концах и обеспечивающих разрушение образца на рабочем участке.

Тем не менее методика ГОСТ 31938—2012 [16] основана на методике ГОСТ 4651—82 [17], который первоначально был предназначен для конструкционных пластмасс прокладочно-уплотнительного назначения, а не направленно армированных волокном стержней композитной арматуры, очевидно отличающихся как структурой и составом, так и условиями работы. Разброс прочности на сжатие в [14, 15] и различие характера разрушения в зависимости от метода испытаний указывает на разность и недооцененность условий реальной работы стержней композитной арматуры в бетоне.

Следует отметить, что методика, изложенная в [16], не предполагает измерения модуля упругости при сжатии. Между тем композитная арматура является анизотропным и, следовательно, разномодульным материалом, т.е. модуль упругости на сжатие и растяжение отличаются, как отмечалось в [14, 15]. Так, модуль упругости композитной арматуры на сжатие составляет порядка 30 ГПа, а прочность при сжатии составляет порядка 0,3...0,35 от прочности на

растяжение. Кроме того, ГОСТ устанавливает требование к композитной арматуре на сжатие (табл. 4 [16]) — не менее 300 МПа. Про требования к модулю упругости на сжатие в данном стандарте не упоминается, а как уже отмечалось выше, данная характеристика чрезвычайно важна для оценки расчетного значения прочности композитной арматуры на сжатие, особенно в свете готовящегося к выходу в ближайшем будущем свода правил по проектированию конструкций с композитной арматурой. Вероятнее всего данный документ не будет содержать методик расчета сжатых элементов с композитной арматурой ввиду упомянутого выше недостатка данных испытаний таких конструкций. В связи с этим положение ГОСТа [16], предъявляющее требования по прочности на сжатие и не содержащее каких бы то ни было требований к модулю упругости в отсутствие методик расчета, выглядит не совсем логичным.

Вид испытаний стержня стеклопластиковой арматуры на сжатие согласно ГОСТ 31938—2012: *а* — эскиз согласно ГОСТ 31938—2012; *б* — натуральный испытуемый образец

Таким образом, используя закон Гука (1), можно получить, что предельные напряжения в композитной арматуре при модуле упругости 30 ГПа достигнут всего лишь порядка 50...60 МПа, что может быть сопоставимо с напряжениями бетона на сжатие. При таких напряжениях, учитывая величину процента армирования в сжатых конструкциях (обычно не более 2...3 %), доля участия композитной арматуры в несущей способности колонны будет очень небольшой, сопоставимой с погрешностью вычислений, что сильно ограничивает перспективы ее использования именно в сжатых элементах.

Однако, как отмечается в зарубежных нормах, и как было показано в [18—23], прочностью композитной арматуры на сжатие не стоит пренебрегать. За рубежом проводились испытания колонн, армированных неметаллической композитной арматурой. Было показано в [19], что прочность колонн с композитной стеклопластиковой арматурой при достаточном шаге поперечной

арматуры всего на 7 % ниже аналогичных по конструкции колонн со стальной арматурой, а прочность колонн с углепластиковой арматурой на 5 % ниже аналогичных по конструкции со стальной арматурой.

Исследования, проведенные в нашей стране автором данной статьи, показали [18], что при достаточном количестве поперечной арматуры, с шагом вдвое меньше рекомендуемого нормами, композитная арматура дает увеличение прочности до 1,8 раза по сравнению с чисто бетонным образцом. В то же время другие исследования показывают [24], что при постановке хомутов с шагом, близким к верхней границе нормы, практически не наблюдается увеличения несущей способности по сравнению с чисто бетонными колоннами без армирования.

Из вышеприведенного можно заключить, что сжатые элементы с композитной арматурой должны проектироваться по другим методикам, нежели сжатые элементы со стальной арматурой. Требуется уточненное, по сравнению со стальной арматурой, поперечное армирование. Какие-то универсальные методики расчета на данный момент отсутствуют, несмотря на некоторый пласт накопленных исследований. Для стеклокомпозитной арматуры не изучен вопрос оптимального процента армирования при уточненной постановке поперечной арматуры.

Выводы. 1. Использование стеклопластиковой неметаллической арматуры является перспективным с экономической точки зрения в целях снижения эксплуатационных расходов зданий и конструкций эксплуатирующихся в условиях агрессивных сред.

2. Проведенные исследования показывают, что неметаллическая стеклокомпозитная арматура при обоснованной постановке поперечной арматуры может использоваться в сжатых элементах с несущей способностью всего на 5 % меньше аналогичных образцов со стальной арматурой.

3. Постановка достаточного количества поперечной арматуры в сжатых бетонных элементах дает увеличение прочности колонн с композитной арматурой до 1,8 раза по сравнению с бетонными образцами без армирования.

4. Для обоснования использования композитной неметаллической арматуры в сжатых элементах и введения в нормы проектирования методик расчета таких элементов необходимо проведение полномасштабных исследований с изучением влияния на прочность и деформативность образцов таких параметров, как форма поперечного сечения образцов, шаг и диаметр поперечной арматуры, процент продольного армирования, внецентренной и циклической нагрузок.

Библиографический список

1. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон — взгляд в будущее // Вестник МГСУ. 2014. № 4. С. 181—189.
2. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Структура целевой функции при оптимизации железобетонных плит с учетом конструкционной безопасности // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 14—15.
3. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Метод поиска резерва несущей способности железобетонных плит перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 23—25.

4. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01—2003. М. : Минрегион России, 2012. 161 с.
5. *Рискин Б.Я.* Прочность сжатых железобетонных стоек с термически упрочненной арматурой // Бетон и железобетон. 1972. № 11. С. 31—33.
6. *Хаит И.Г., Чистяков Е.А.* Применение высокопрочной арматуры в колоннах многоэтажных зданий // Научно-технический реферат : ВЦНИС. М. : Стройиздат, 1979. Сер. 8. Вып. 10. С. 36—42.
7. *Бейсембаев М.К.* Прочность сжатых железобетонных элементов с высокопрочной ненапрягаемой арматурой : дисс. ... канд. техн. наук. М. : НИИЖБ, 1991. 154 с.
8. ACI 440.1R—15. Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP Bars. ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich. 2015. 83 p.
9. CAN/CSA-S6-02. Design and construction of building components with fibre-reinforced polymers, CAN/CSA S806-02. Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada, 2002. 177 p.
10. CNR-DT 203/2006. Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione e il Controllo di Strutture di Calcestruzzo armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato. Rome : CNR, 2007. 42 p. (in Italian)
11. Fib Bulletin #40. FRP reinforcement in RC structures. 147 p.
12. Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials // Japan Society of Civil Engineers (JSCE). Concrete Engineering Series No. 23. 1997. 325 p.
13. ASTM D695—10. Standard test method for compressive properties of rigid plastics. ASTM, 2010. 7 p.
14. *Лапишинов А.Е.* Исследование работы СПА и БПА на сжатие // Вестник МГСУ. 2014. № 1. С. 52—57.
15. *Блазнов А.Н., Савин В.Ф., Волков Ю.П., Тихонов В.Б.* Исследование прочности и устойчивости однонаправленных стеклопластиковых стержней при осевом сжатии // Механика композиционных материалов и конструкций. 2007. Т. 13. № 3. С. 426—440.
16. ГОСТ 31938—2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. 38 с.
17. ГОСТ 4651—82 (СТ СЭВ 2896—81). Пластмассы. Метод испытания на сжатие. М. : Изд. стандартов, 1998. 8 с.
18. *Лапишинов А.Е., Мадатян С.А.* Колонны, армированные стеклопластиковой и базальтопластиковой арматурой // Бетон и железобетон — взгляд в будущее : сб. тр. II Междунар., III Всеросс. конф. по бетону и железобетону (г. Москва, 12—16 мая 2014 г.). М., 2014. Т. III. С. 67—77.
19. *Affi M.Z., Mohamed H., Benmokrane B.* Axial capacity of circular concrete columns reinforced with gfrp bars and spiral // Journal of Composites for Construction. 2014. Vol. 18 (1). Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/260081219_Axial_Capacity_of_Circular_Concrete_Columns_Reinforced_with_GFRP_Bars_and_Spirals. Дата обращения: 02.06.2015.
20. *Hany Tobbi, Ahmed Sabry Farghaly, Brahim Benmokrane.* Concrete columns reinforced longitudinally and transversally with glass fiber-reinforced polymer bars // ACI Structural Journal. July—August 2012. Vol. 109 (4). Режим доступа: http://www.researchgate.net/publication/260389101_Concrete_Columns_Reinforced_Longitudinally_and_Transversally_with_Glass_Fiber-Reinforced_Polymer_Bars. Дата обращения: 02.06.2015.
21. *Choo C.C., Harik I.E., Gesund H.* Concrete columns reinforced with FRP bars: extending the life of RC structures // 34th Conference on Our World in Concrete & Structures. Singapore, 16—18 August 2009. Pp. 15—22.

22. De Luca A., Matta F., Nanni A. Behavior of full-scale concrete columns internally reinforced with glass FRP bars under pure axial load // *Composites & Polycon* 2009. American Composites Manufacturers Association January 15—17, 2009 Tampa, FL USA. Режим доступа: http://www.bpcposites.com/wp-content/uploads/2012/08/behavior_of_fullscale_concrete_columns_internally_reinforced_with_glass_frp_bars_under_pure.pdf. Дата обращения: 02.06.2015.

23. Deiveegan A., Kumaran G. Reliability Study of concrete columns internally reinforced with nonmetallic reinforcements // *Int. Journal of Civil and Structural Eng.* 2010. Vol. 1. No. 3. Pp. 270—287.

24. Головин Н.Г., Пахратдинов А.А. Прочность сжатых железобетонных элементов, изготовленных на щебне из бетона // *Строительство и реконструкция*. 2014. С. 101—106.

Поступила в редакцию в сентябре 2015 г.

Об авторе: **Лапшинов Андрей Евгеньевич** — аспирант и ассистент кафедры железобетонных и каменных конструкций, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, La686@yandex.ru.

Для цитирования: *Лапшинов А.Е.* Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в качестве рабочей ненапрягаемой в сжатых элементах // *Вестник МГСУ*. 2015. № 10. С. 96—105.

A.E. Lapshinov

PROSPECTS OF POTENTIAL APPLICATION OF NON-METALLIC FRP REINFORCEMENT IN FRP-REINFORCED CONCRETE COMPRESSIVE MEMBERS AS MAIN LONGITUDINAL NON-PRESTRESSED REINFORCEMENT

In the foreign countries there exist not only design guidelines but also standards for testing of FRP materials. These codes do not recommend using FRP bars in compressive members, such as columns. But the compressive strength shouldn't be neglected according to those design codes. In our country the standards for FRP testing and design codes are just in the process of development.

This paper contains the analysis results of the possibility of GFRP bars use as the main longitudinal reinforcement in compressive members. The most recent research data on this subject is presented. The studies show that the strength of the specimens grow rapidly with the decreasing tie spacing in columns. We can also make a conclusion that the GFRP bars contribution is only 5 % lower than the contribution of traditional steel bars. Some other research data shows that in case of the tie spacing close to the design codes limitations there is no strength increase in the same specimens made of plain concrete.

Key words: FRP, compression strength, modulus of elasticity, yield strength, testing

References

1. Tamrazyan A.G. Beton i zhelezobeton — vzglyad v budushchee [Concrete and Reinforced Concrete — Glance at Future]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 4, pp. 181—189. (In Russian)
2. Tamrazyan A.G., Filimonova E.A. Struktura tselevoy funktsii pri optimizatsii zhelezobetonnykh plit s uchetom konstruktivnoy bezopasnosti [Structure of Efficiency Function during Optimization of Reinforced Concrete Slabs with Account for Structural Safety]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2013, no. 9, pp. 14—15. (In Russian)

3. Tamrazyan A.G., Filimonova E.A. Metod poiska rezerva nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh plit perekrytiy [Method of Searching the Bearing Capacity Reserve for Reinforced Concrete Slabs]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2011, no. 3, pp. 23—25. (In Russian)

4. SP 63.13330.2012. *Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 52-01—2003* [Requirements SP 63.13330.2012. Concrete and Reinforced Concrete Structures. Fundamental Principles. Revised Edition of Construction Norms SNIp 52-01—2003]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012, 161 p. (In Russian)

5. Riskind B.Ya. Prochnost' szhatykh zhelezobetonnykh stoek s termicheski uprochnennoy armaturoy [Reliability of Compressed Reinforced Concrete Poles with Thermally Strengthened Reinforcement]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1972, no. 11, pp. 31—33. (In Russian)

6. Khait I.G., Chistyakov E.A. Primenenie vysokoprochnoy armatury v kolonnakh mnogotazhnykh zdaniy [Application of High-Tensile Reinforcement in the Piles of Multistory Buildings]. *Nauchno-tehnicheskiiy referat : VTsNIS* [Scientific Technical Report : VTsNIS]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979, Series 8, no. 10, pp. 36—42. (In Russian)

7. Beysembaev M.K. *Prochnost' szhatykh zhelezobetonnykh elementov s vysokoprochnoy nenapryagaemoy armaturoy : dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Stability of Compressed Reinforced Concrete Elements with High-Tensile Nontensioned Reinforcement]. Moscow, NIIZhB Publ., 1991, 154 p. (In Russian)

8. ACI 440.1R—15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2015, 83 p.

9. CAN/CSA-S6-02. Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers, CAN/CSA S806-02. Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, Canada, 2002, 177 p.

10. CNR-DT 203/2006. Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione e il Controllo di Strutture di Calcestruzzo armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato. Rome, CNR, 2007, 42 p. (In Italian)

11. Fib Bulletin #40. FRP Reinforcement in RC Structures. 147 p.

12. Machida A., editor. Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials. Japan Society of Civil Engineers (JSCE). Concrete Engineering Series No. 23, 1997, 325 p.

13. ASTM D695—10. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. ASTM, 2010, 7 p.

14. Lapshinov A.E. Issledovanie raboty SPA i BPA na szhatie [The Experimental Research of GFRP and BFRP Operation under Compression]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 1, pp. 52—57. (In Russian)

15. Blaznov A.N., Savin V.F., Volkov Yu.P., Tikhonov V.B. Issledovanie prochnosti i us-toychivosti odnonapravlennykh stekloplastikovyykh sterzhney pri osevom szhatii [Examining Strength and Stability of Monodirectional Glass Fiber Rods under Axial Compression]. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksiy* [Mechanics of Composite Materials and Structures]. 2007, vol. 13, no. 3, pp. 426—440. (In Russian)

16. GOST 31938—2012. *Armatura kompozitnaya polimernaya dlya armirovaniya betonnykh konstruksiy. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [Russian State Standard GOST 31938—2012. Composite Polymer Reinforcement for Reinforcing Concrete Structures. Main Technical Conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 38 p. (In Russian)

17. GOST 4651—82 (ST SEV 2896—81). *Plastmassy. Metod ispytaniya na szhatie* [Russian State Standard 4651—82 (ST SEV 2896-81). Plastic. Compression Test Method]. Moscow, Izd standartov Publ., 1998, 8 p. (In Russian)

18. Lapshinov A.E., Madatyan S.A. Kolonny, armirovannye stekloplastikovoy i bazal'toplastikovoy armaturoy [Columns, Reinforcing with Fiberglass and BFRP Reinforcement]. *Beton i zhelezobeton — vzglyad v budushchee : sbornik trudov II Mezhdunarodnoy, III Vserossiyskoy konferentsii po betonu i zhelezobetonu (g. Moskva, 12—16 maya 2014 g.)* [Concrete and Reinforced Concrete — Glance into Future : Collection of the Materials of the 2nd International, 3rd All-Russian Conference on Concrete and Reinforced Concrete (Moscow, May 12—16, 2014)]. Moscow, 2014, vol. III, pp. 67—77. (In Russian)

19. Afifi M.Z., Mohamed H., Benmokrane B. Axial Capacity of Circular Concrete Columns Reinforced with GFRP Bars and Spirals. *Journal of Composites for Construction*. 2014, vol. 18 (1). Available at: http://www.researchgate.net/publication/260081219_Axial_Capacity_of_Circular_Concrete_Columns_Reinforced_with_GFRP_Bars_and_Spirals. Date of access: 02.06.2015. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000438](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000438).
20. Hany Tobbi, Ahmed Sabry Farghaly, Brahim Benmokrane. Concrete Columns Reinforced Longitudinally and Transversally with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars. *ACI Structural Journal*. July—August 2012, vol. 109 (4). Available at: http://www.researchgate.net/publication/260389101_Concrete_Columns_Reinforced_Longitudinally_and_Transversally_with_Glass_Fiber-Reinforced_Polymer_Bars. Date of access: 02.06.2015.
21. Choo C.C., Harik I.E., Gesund H. Concrete Columns Reinforced with FRP Bars: Extending the Life of RC Structures. 34th Conference on Our World in Concrete & Structures. Singapore, 16—18 August 2009, pp. 15—22.
22. De Luca A., Matta F., Nanni A. Behavior of Full-Scale Concrete Columns Internally Reinforced with Glass FRP Bars Under Pure Axial Load. *Composites & Polycon* 2009. American Composites Manufacturers Association January 15—17, 2009 Tampa, FL USA. Available at: http://www.bpcomposites.com/wp-content/uploads/2012/08/behavior_of_fullscale_concrete_columns_internally_reinforced_with_glass_frp_bars_under_pure.pdf. Date of access: 02.06.2015.
23. Deiveegan A., Kumaran G. Reliability Study of Concrete Columns Internally Reinforced with NonMetallic Reinforcements. *Int. Journal of Civil and Structural Eng.* 2010, vol. 1, no. 3, pp. 270—287.
24. Golovin N.G., Pakhratdinov A.A. Prochnost' szhatykh zhelezobetonnykh elementov, izgotovlennykh na shchebne iz betona [Reliability of Compressed Reinforced Concrete Elements Produced on Gravel of Concrete]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction]. 2014, pp. 101—106. (In Russian)

About the author: **Lapshinov Andrey Evgenievich** — postgraduate student, Assistant Lecturer, Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; La686@yandex.ru.

For citation: Lapshinov A.E. Perspektivy primeneniya nemetallicheskoj kompozitnoy armatury v kachestve rabochey nenapryagaemoy v szhatykh elementakh [Prospects of Potential Application of Non-Metallic FRP Reinforcement in FRP-Reinforced Concrete Compressive Members as Main Longitudinal Non-Prestressed Reinforcement]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 10, pp. 96—105. (In Russian)