

УДК 531.03

БЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ С СЕТЧАТОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ

(поступила в редакцию 30.07.2015, принята в печать 21.09.2015)

А.А.Склезнев¹, А.Ф.Разин²

¹ЗАО «Центр перспективных разработок ОАО ЦНИИСМ», Россия

²ОАО «Центральный НИИ специального машиностроения», Россия

В статье обсуждается армирование бетонных элементов конструкций композитными материалами. Рассматривается внешнее усиление бетонных колонн, замена стальной арматуры на композитную и армирование бетона сетчатыми композитными структурами. Представлены результаты экспериментального исследования бетонной колонны, армированной композитной сетчатой структурой. Несущая способность и жёсткость такой колонны сопоставляются с характеристиками аналогичных бетонной и железобетонной колонн.

Ключевые слова: композиты, сетчатые конструкции, бетонные конструкции

CONCRETE STRUCTURES WITH LATTICE COMPOSITE REINFORCEMENT

A.A.Skleznev¹, A.F.Razin²

¹CRISM Center of Advanced Technologies, Russia

²Central Research Institute of Special Machinery (CRISM), Russia

The paper is concerned with the problem of concrete reinforcement with composites. Reinforcement located on the surface of concrete columns, utilization of composites instead of steel reinforcement and application of composite lattice structures as reinforcing elements are considered. Load-carrying capacity of the concrete column with composite lattice reinforcement is studied experimentally and compared with the corresponding characteristics of the concrete column and the column with steel reinforcement.

Keywords: composite materials, lattice structures, concrete structures

Традиционно, для усиления несущей способности бетона используется стальная арматура, препятствующая разрушению бетона при растяжении и изгибе. В настоящее время, в отечественной строительной практике предпринимаются попытки использования композитных материалов для усиления бетонных конструкций, о чём свидетельствует значительное количество публикаций о применении композитов в бетонных конструкциях в общем количестве публикаций в области строительной индустрии, которое возросло с 0,5% в 2009 году до 3% в 2013 году (по данным электронной базы данных реферативных журналов ВИНТИ [1]). Вопросы использования композитов для усиления бетонных конструкций обсуждаются, в частности, в работах [2-4].

Можно предложить следующую классификацию существующих методов усиления бетонных конструкций.

1. Дисперсное армирование нано- и микро- частицами.

1.1. Дисперсно-армированный железобетон.

1.2. Дисперсно-армированный бетон с композитной арматурой.

1.3. Дисперсно-армированный гибридный бетон, армированный как металлическими, так и композиционными элементами.

2. Внешнее армирование композитным материалом ремонтируемых или реконструируемых элементов конструкций.

- 2.1. Дискретный армирующий каркас.
- 2.2. Сплошной композитный армирующий каркас.
3. Армирование макроструктурными элементами.
 - 3.1. Металлическая арматура.
 - 3.2. Композитная арматура.
 - 3.3. Интегральный композитный каркас.
 - 3.4. Гибридное армирование.

Дисперсное армирование бетона в настоящей работе не рассматривается. Внешнее армирование бетонных элементов композитными рёбрами или сплошной оболочкой используется в основном для ремонта повреждённых бетонных элементов и обладает низкой технологичностью.

Использование композитной арматуры вместо металлической предполагает подбор материала и схемы армирования близких к традиционной металлической арматуре и не приводят к существенному росту несущей способности бетонных конструкций.

В настоящей работе предлагается использовать для усиления бетона анизотридные композитные сетчатые конструкции, разработанные в ОАО «ЦНИИСМ» применительно к ракетно-космической и авиационной технике [5-9]. Сетчатые конструкции изготавливаются намоткой композитной ленты в канавки эластичной матрицы, покрывающей оправку. В результате намотки образуется система пересекающихся спиральных, кольцевых или продольных рёбер из однонаправленного композитного материала. Типовые формы сетчатых композитных конструкций, которые могут быть использованы для усиления бетонных колонн, показаны на Рис. 1.

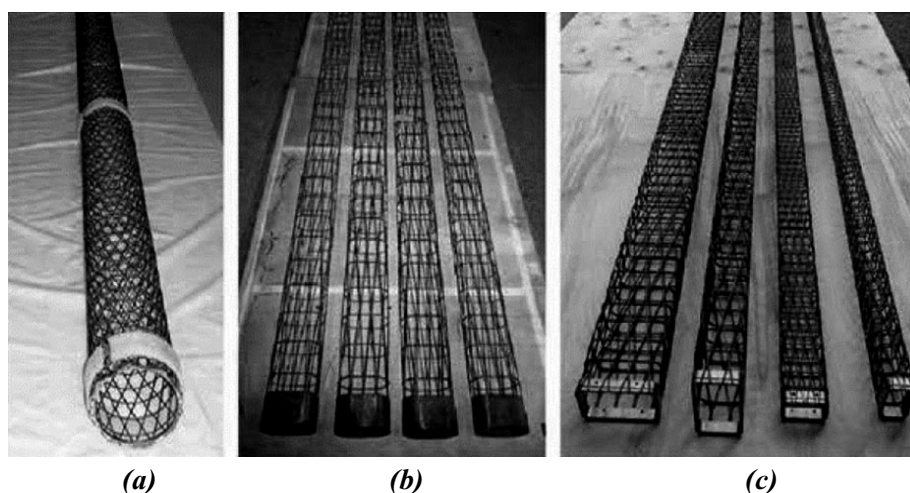


Рис. 1. Анизотридные композитные стержневые сетчатые элементы с круговым (а), овальным (b) и прямоугольным (c) сечением
Anisotropic composite lattice beams with circular (a), oval (b) and rectangular (c) cross sections

Стеклопластиковые, базальтопластиковые или углепластиковые стержневые и оболочечные сетчатые элементы (Рис. 1), созданные при помощи автоматизированных методов непрерывной намотки и обладающие высоким весовым совершенством, ранее использовавшиеся исключительно в аэрокосмическом машиностроении, позволяют достигнуть значительного увеличения несущей способности бетонных конструкций, при условии сохранения или снижения массы существующих железобетонных элементов конструкций.

Для экспериментального исследования было изготовлено 3 образца бетонных колонн (К-1, К-2, К-3) с геометрическими характеристиками, представленными на Рис. 2.

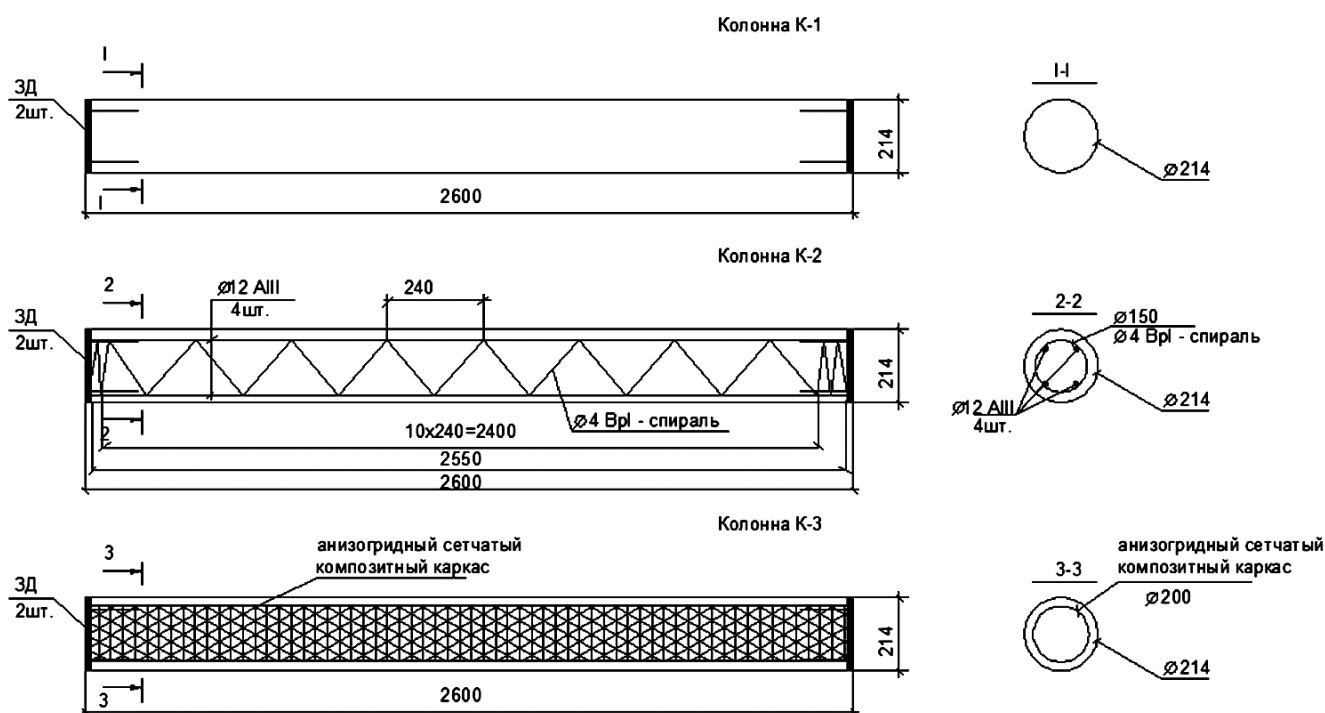


Рис. 2. Геометрические характеристики экспериментальных бетонных колонн
Geometry of experimental concrete columns

Колонна К-1 изготовлена из бетона марки В30 и не имеет армирования. При нормативном пределе прочности бетона на сжатие 36 МПа несущая способность колонны при осевом сжатии составляет 0,804 МН.

Колонна К-2 усилена стандартной стальной арматурой класса АIII марки 25Г2С. Для армирования применено четыре арматурных прута диаметром 12 мм и спиральная обвязка из стальной проволоки Вр1 диаметром 4 мм с шагом 0,24 м (Рис. 2). Расчёт колонны традиционным методом [10] даёт разрушающую нагрузку при осевом сжатии 1,51 МН.

Колонна К-3 усилена Анизогридным стержнем из углепластика на основе углеродных волокон НТС и эпоксидного связующего ЭХД-МД. Стержень имеет круговое сечение (Рис. 1а) и обладает следующими геометрическими параметрами:

- длина 2,6 м;
- угол наклона спиральных рёбер к образующей 15°;
- число пар спиральных рёбер 24;
- высота сетчатой структуры 5,0 мм;
- ширина спиральных рёбер 5,0 мм;
- ширина кольцевых рёбер 2,0 мм.

Модуль упругости материала рёбер 90 ГПа, пределы прочности при растяжении и сжатии 1430 МПа и 650 МПа, плотность материала рёбер 1450 кг/м³.

Расчёт сетчатого стержня на сжатие [11] даёт разрушающую нагрузку 0,6 МН. Масса стержня составляет 3,6 кг.

Все три колонны в целях равномерного распределения усилия сжатия снабжены торцевыми металлическими пластинами (ЗД на Рис. 2), закреплёнными в бетоне при помощи стальной арматуры (Рис. 2).

Образцы К-1, К-2 и К-3 подвергались осевому сжатию на установке, показанной на Рис. 3



Рис. 3. Осевое сжатие экспериментальной колонны
Axial compression of an experimental column

Результаты испытаний представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний колонн

Колонна	Масса, кг	Разрушающая осевая сила, МН	Осевая жёсткость, кН/мм
К-1	249,6	0,804	117,5
К-2	255,9	1,46	225,0
К-3	247,5	1,88	224,9

Формы разрушения колонн К-2 и К-3 показаны на Рис. 4



(a)



(b)

Рис. 4. Формы разрушения колонн со стальной (a) и композитной сетчатой (b) арматурой
Failure modes of the columns with steel (a) and lattice composite (b) reinforcements

Как следует из полученных результатов, колонна с композитной арматурой К-3 при массе на 3,3% меньшей массы колонны со стальной арматурой обладает практически такой же жёсткостью и на 28,8% большей несущей способностью.

Таким образом, использование сетчатых композитных конструкций для усиления бетонных колонн представляется перспективным техническим направлением. Расположение несущих сетчатых конструкций внутри бетонных колонн позволяет устранить основной недостаток полимерных композитов, сдерживающий их внедрение в гражданское строительство – низкую огнестойкость. Наиболее существенным фактором, сдерживающим серийное производство предлагаемого типа конструкции, является высокая стоимость композитных материалов. Существенное снижение стоимости колонны с сетчатой структурой из углепластика, рассматриваемой в настоящей статье, можно ожидать, если использовать в сетчатой конструкции стеклянные или базальтовые волокна, которые не уступают углеродным волокнам по прочности на сжатие, но обладают значительно меньшей стоимостью. Однако, в настоящее время использование рассматриваемых конструкций в гражданском строительстве представляется экономически нецелесообразным.

Можно указать перспективные области техники, для которых стоимость конструкции не является решающим фактором. В частности, в атомной энергетике и в гидроэнергетике размеры и воспринимаемая нагрузка для железобетонных конструкций достигли той величины, при которой дальнейшее увеличение их несущей способности традиционными методами (увеличением размеров сечения и мощности армирования) может оказаться невозможным.

Кроме этого, появляется новый класс задач, связанных со строительством обитаемых баз на Луне.

Предполагается, что для основания долговременной колонии необходимо возвести капитальные строения, эффективно защищающие обитателей базы от метеоритной и радиационной опасности. Очевидно, что решение этой проблемы при помощи доставляемых с Земли обитаемых модулей практически невозможно, так как масса этих конструкций исключает их транспортировку. В последнее время появляются публикации, свидетельствующие о наличии воды на Луне. Кроме того, известно, что состав лунного грунта близок к составу грунта Земли [12], что даёт потенциальную возможность создавать и использовать специальные бетонные смеси, которые можно будет производить на поверхности Луны. Проблему армирования таких конструкций предлагается решить при помощи сетчатых композитных элементов в силу их низкой массы, а также в связи с тем, что они широко применяются при изготовлении конструкций космических носителей. При этом возможны два подхода – первый предполагает транспортировку сетчатых конструкций на Луну, а второй – использование сетчатых элементов конструкций грузовых кораблей в качестве армирующих элементов.

Библиографический список

1. Электронная база данных реферативных журналов ВИНТИ. (http://www2.viniti.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=236&xf=s&Itemid=101 – электронный ресурс.
2. Степанова В., Григорьев Л. Перспективы применения композитов. *Строительная газета*. №10, 08.03.2015, стр.5.
3. Бормотов А.Н., Колобова Е.А., Конопацкий Ю.В. Методика представления композиционного материала как объекта исследования и моделирования. *Строительные материалы и изделия. Региональная архитектура и строительство*. 2012, №3, стр. 44-51.
4. Румянцев Б.Н., Жуков А.Д. Принципы создания новых строительных материалов. *Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая*. 2012, вып. 3(23), стр. 1-6.
5. Vasiliev V.V., Barynin V.A., Razin A.F. Anisogrid Lattice Structures – Survey of Development and Application. *Composite Structures*. 2001. No. 54. pp 361-370.
6. Vasiliev V.V., Razin A.F. Anisogrid Composite Lattice Structures for Spacecraft and Aircraft Applications. *Composite Structures*. 2006. No. 76. pp. 182-189.
7. Vasiliev V., Gruzdin A., Petrokovskii S. and Razin A. Composite lattice structure for the interface between the launcher and spacecraft. *Polyot (Flight)*, 1999, No.9, pp. 44-47.

8. Vasiliev V.V., Barynin V.A., Razin A.F. Anisogrid composite lattice structures – Development and aerospace applications. *Composite Structures*. 2012. № 94. pp 1117-1127.

9. Васильев В.В., Барынин В.А., Разин А.Ф., Петроковский С.А., Халиманович В.И. Анизогридные композитные сетчатые конструкции – разработка и приложение к космической технике. *Композиты и наноструктуры*. 2009, № 3, стр. 38-50.

10. Улицкий И.И., Ривкин С.А., Самолетов М.В., Дыховичный А.А., Френкель М.М., Кретов В.И. *Железобетонные конструкции (расчёт и конструирование)*. Изд. Киев, «Будівельник», 1972, 992 стр.

11. Васильев В.В. *Механика конструкций из композиционных материалов*. М.: Машиностроение, 1988, 271 стр.

12. Брюханов Н.А., Легостаев В.П., Лобыкин А.А., Лопота В.А., Сизенцев Г.А., Синявский В.В. и др. Использование ресурсов Луны для исследования и освоения Солнечной системы в XXI веке. *Космическая техника и технологии*. 2014, №1 (4), стр. 3-14.

References

1. The electronic database of VINITI reference journals. (http://www2.viniti.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=236&xmf=s&Itemid=101 – internet address.

2. Stepanova V., Grigoriev L. The Perspectives of Composites Applications. *Stroitel'naya Gazeta*. №10, 08.03.2015, p.5. (in russian).

3. Bormotov A.N., Kolobova E.A., Konopatskiy Yu.V. The Method of presentation of composite material as an object of research and modeling. *Regional architecture and engineering*. 2012, №3, pp. 44-51 (in russian).

4. Rumyantsev B.N., Zhukov A.D. Principles of creation of new building materials. *Internet-vestnik VolgGASU Ser.: Polythematic*. 2012, № 3(23), pp. 1-6 (in russian).

5. Vasiliev V.V., Barynin V.A., Razin A.F. Anisogrid Lattice Structures – Survey of Development and Application . *Composite Structures*. 2001. 54. P.361-370.

6. Vasiliev V.V., Razin A.F. Anisogrid Composite Lattice Structures for Spacecraft and Aircraft Applications. *Composite Structures*. 2006. 76. P.182-189.

7. Vasiliev V., Gruzdin A., Petrokovskii S. and Razin A. Composite lattice structure for the interface between the launcher and spacecraft. *Polyot (Flight)*, 1999, №.9, pp. 44-47.

8. Vasiliev V.V., Barynin V.A., Razin A.F. Anisogrid composite lattice structures – Development and aerospace applications. *Composite Structures*. 2012. 94. P.1117-1127.

9. Vasiliev V.V., Barinin V.A., Razin A.F., Petrokovsky S.A., Khalimanovich V.I. Anisogrid composite lattice structures – development and space applications. *Composites and Nanostructures*. 2009, № 3, pp. 38-50 (in russian).

10. Ulitsky I.I., Rivkin S.A., Samoletov M.V., Dihovichny A.A., Frenkel M.M., Kretov V.I. Reinforced concrete constructions (calculation and design). *Kiev, Budivelnik*, 1972, 992 p. (in russian).

11. Vasiliev V.V. *Mechanics of composite structures*. Moscow: Machinery, 1988, 271 p (in russian).

12. Brukhanov N.A., Legostaev V.P., Lobikin A.A., Lopota V.A., Sizencev G.A., Sinyavsky V.V. and others. Using of Moon resources for the research and development of the Solar System in XXI century. *Space Technics and Technologies*. 2014, № 1 (4), pp. 3-14 (in russian).

Сведения об авторах

А.А. Склезнев¹: канд. техн. наук, ведущий инженер ЗАО «Центр перспективных разработок ОАО «ЦНИИСМ», г. Хотьково Московской области, Россия, andrey@skleznev.ru, тел +7(495) 995 50 25.

А.Ф. Разин: д-р техн. наук, зам. главного конструктора Центрального НИИ специального машиностроения (ЦНИИСМ); г. Хотьково Московской обл., Россия, razin@crism-cat.ru, тел.: +7 (495) 223 01 09.

¹ Контактное лицо