

УДК 691.328.4

## О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры

**Владимир Иванович РИМШИН**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН,  
e-mail: v.rimshin@vniizhbeton.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
129337 Москва, Ярославское ш., 26

**Сергей Иванович МЕРКУЛОВ**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН,  
e-mail: mersi.dom@yandex.ru

ФГБОУ ВПО «Курский государственный университет», 305000 Курск, ул. Радищева, 33

**Аннотация.** Рассмотрены различные варианты применения неметаллической композитной арматуры в бетонных и железобетонных конструкциях. Сформулированы основные направления разработки теории расчета конструкций с композитной арматурой. Показано, что главным фактором, обеспечивающим надежность конструкции, является сцепление композитной стержневой арматуры с бетоном. Приведены физико-механические характеристики стержневой стеклокомпозитной и базальтокомпозитной арматуры, такие как предел прочности при растяжении и модуль упругости при растяжении. Проанализированы различные способы усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений композитной арматурой. Определены актуальные направления исследований по теории силового сопротивления усиленных железобетонных конструкций. Отмечено, что существенное влияние на прочность при растяжении и модуль упругости при растяжении оказывает структура арматурных стержней. Установлено влияние диаметра арматурных стержней от 5 до 10 мм на прочность арматуры при растяжении, которая в отдельных случаях снижается на 35 %. Предложено провести исследования зависимости прочности при растяжении и модуля упругости при растяжении от диаметра стержней для всей номенклатуры композитной арматуры.  
**Ключевые слова:** композитная арматура, методы испытания, сопротивление, сцепление, относительное удлинение.

### ABOUT NORMALIZATION OF CHARACTERISTICS OF ROD NON-METALLIC COMPOSITE REINFORCEMENT

**Vladimir I. RIMSHIN**, e-mail: v.rimshin@vniizhbeton.ru

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

**Sergey I. MERKULOV**, e-mail: mersi.dom@yandex.ru

Kursk State University, ul. Radishcheva, 33, Kursk 305000, Russian Federation

**Abstract.** Various options of the use of non-metallic composite reinforcement in concrete and reinforced concrete structures are considered. Main directions of the development of the theory of analysis of structures with composite reinforcement are formulated. It is shown that the main factor ensuring the reliability is composite rod reinforcement-to-concrete bond. Physical-mechanical characteristics of rod glass-composite and basalt-composite reinforcements such as tensile ultimate strength and modulus of elasticity in tension are presented. Various methods for strengthening reinforced concrete constructions of buildings and structures with composite reinforcement are analyzed. The actual directions of research in the theory of force resistance of strengthened reinforced concrete structures are determined. It is noted that the structure of reinforcing bars significantly influences on the tensile strength and modulus of elasticity. The impact of reinforcing bar diameters from 5 up to 10 mm on their tensile strength which, in some cases, reduces by 35 % has been established. It is proposed to carry out the study of the dependence of tensile strength and modulus of elasticity in tension on the bar diameters for the whole nomenclature of composite reinforcement.  
**Key words:** composite reinforcement, test methods, resistance, bond, relative elongation.

**В** настоящее время промышленностью выпускается широкая номенклатура неметаллической композитной арматуры и накоплен определенный опыт производства бетонных конструкций с композитной арматурой [1, 2]. Применение такой арматуры обеспечивает долговечность

железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных условиях. Композитная арматура характеризуется абсолютной стойкостью к агрессивной среде (хлоридная, сульфатная), высокой прочностью и огнестойкостью, она не электропроводна и диамагнитна, имеет

высокие реологические свойства и не теряет прочностные свойства под воздействием сверхнизких температур.

Неметаллическая арматура для бетонных конструкций должна обладать заданными прочностными и деформативными свойствами при кратковременном и

длительном действии нагрузок в широком спектре температур, а также в условиях коррозионных воздействий, обеспечивая сцепление с бетоном в течение всего срока эксплуатации конструкции. В работе [1] выполнен анализ и определены направления применения композитной арматуры в бетонных конструкциях, сформулированы основные задачи исследований и развития теории расчета таких конструкций. В частности, показано, что первоочередная задача — проведение экспериментально-теоретических исследований по нормированию характеристик арматуры, оценке ее сцепления с бетоном при напряженных состояниях.

В различных документах по проектированию бетонных конструкций с композитной арматурой использованы положения нормативных документов по проектированию железобетонных конструкций с металлической арматурой [3–5]. Такой подход имеет место и во включенном в СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» разделе по расчету конструкций с композитной полимерной арматурой. В отличие от расчетов железобетонных конструкций со стальной арматурой в СП отсутствуют указания по назначению нормативных и расчетных характеристик композитной полимерной арматуры. Отмечено, что нормативные значения сопротивления растяжению и модуля упругости определяют по испытаниям образцов в соответствии с ГОСТ 31938. Данный стандарт устанавливает минимальные значения физико-механических показателей стержневой композитной арматуры, а также допускает, что предел прочности и модуль упругости при растяжении должны быть не менее значений, принятых изготовителями арматуры.

Таким образом, в сводах правил и национальных стандартах отсутствуют экспериментально обоснованные указания по установлению расчетных характеристик композитной арматуры, позволяющие назначать соответствующие показатели. Сегодня проектирование бетонных конструкций с композитной арматурой возможно только применительно к продукции конкретных предприятий-изготовителей в соответствии с их техническими условиями.

Стержневая полимерная композитная арматура (АПК) изготавливается из объединенных в непрерывный пучок волокон с пропиткой полимерным композитом. Для создания профиля боковой поверхности арматурных стержней пучок круглого сечения обматывают по периметру одним или двумя такими же пучками меньшего диаметра. В зависимости от типа армирующего воло-

на арматуру подразделяют на следующие виды:

- стеклокомпозитная арматура (АСК);
- базальтокомпозитная арматура (АБК);
- углекомпозитная арматура (АУК);
- арамидокомпозитная арматура (ААК).

Следует отметить, что разработанные производителями технические условия не решают задачи нормирования расчетных характеристик композитной арматуры, необходимых для проектирования конструкций. На предприятиях отсутствуют единые подходы к оценке физико-механических показателей АПК и единые методики ее лабораторных испытаний. Отдельные технические условия предписывают испытание композитной арматуры проводить по ГОСТ 12004–81\* «Сталь арматурная. Методы испытания на растяже-

### 1. Характеристики стержневой композитной полимерной арматуры

Арматура	Предел прочности при растяжении $\sigma$ , МПа	Модуль упругости при растяжении $E$ , МПа	Источник
АСК	800	50000	ГОСТ 31938
АБК	800	50000	ГОСТ 31938
АУК	1400	130000	ГОСТ 31938
ААК	1400	70000	ГОСТ 31938
АСК	800	50000	СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013
АБК	900	50000	СТО НОСТРОЙ 2.6.90-2013
АСК	1250	60000	ТУ 2296-290-36554501-2010
АБК	1450	90000	ТУ 2296-290-36554501-2010
АСК	1200	55000	ТУ 5769-248-35354501-2007
АБК	1300	71000	ТУ 5769-248-35354501-2007
АСК	1250	60000	ТУ 2296-275-36554501-2008
АБК	1450	90000	ТУ 2296-275-36554501-2008
АСК	1200	55000	ТУ 5769-248-36554501-2007
АБК	1300	71000	ТУ 5769-248-36554501-2007
АСК	1250	74000	ТУ 2296-001-1087746110319-2013
АБК	1450	110000	ТУ 2296-001-1087746110319-2013

ние», в соответствии с которым стержни композитной арматуры непосредственно закрепляются в штатных захватах растягивающей арматуры. При испытании по такой методике происходит смятие стержней в захватах [6].

Основой для широкого применения композитной арматуры может стать ГОСТ 31938–2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия». В данном стандарте приведены методы испытаний композитной арматуры на осевое растяжение, сжатие, поперечный срез и др., которые необходимо перевести из разряда справочных материалов в обязательные положения. Это позволит устранить существующую несогласованность предприятий-производителей АПК.

Выпускаемая различными изготовителями стержневая композитная арматура существенно отличается по своим характеристикам. Значения предела прочности и модуля упругости при растяжении АПК приведены в *табл. 1*.

Так, разными производителями прочность на растяжение АПК устанавливается в пределах 800–1250 МПа, прочность АБК – в пределах 800–1450 МПа. В соответствии с ГОСТ 31938 предел прочности должен составлять не менее 800 МПа. Это приводит к ситуации, когда при проектировании конструкций для стержневой композитной арматуры назначают расчетные характеристики, указанные в технических условиях конкретного производителя композитных материалов, либо принимают минимальные значения арматуры по ГОСТ 31938. В последнем случае бетонные конструкции армируются со значительным перерасходом материалов, а учитывая, что фактическая прочность при растяжении композитной арматуры значительно превышает

## 2. Характеристики стержневой стеклокомпозитной арматуры (АСК)

Источ-ник	Показа-тели	Диаметр стержня, мм					
		4	5	6	8	10	12
[8]	$\sigma$ , МПа	–	1200	–	1040	880	–
	$E$ , МПа	–	52800	–	41360	41360	–
	$\delta$ , %	–	2,3	–	2,3	2,3	–
[10]	$\sigma$ , МПа	1100	–	–	1080	990	905
	$E$ , МПа	44780	–	–	42425	41400	40770
	$\delta$ , %	2,45	–	–	2,52	2,23	2,22
[11]	$\sigma$ , МПа	1200	–	1200	1200	1150	1150
	$E$ , МПа	43000	–	43000	43000	45000	45000
	$\delta$ , %	2,2	–	2,2	2,2	2,2	2,2

## 3. Характеристики стержневой базальтокомпозитной арматуры (АБК)

Источник	Характери-стики	Диаметр стержня, мм			
		5	6	8	10
[8]	$\sigma$ , МПа	15000	–	1300	1100
	$E$ , МПа	60000	–	47000	47000
	$\delta$ , %	2,5	–	2,5	2,5
[9]	$\sigma$ , МПа	–	1255	1080	1010
	$E$ , МПа	–	50285	52550	47000
	$\delta$ , %	–	3,3	2,7	2,6

принимаемую, запроектированные конструкции являются перearмированными. Устранить отмеченное несоответствие позволило бы принятие стандарта «Арматура композитная полимерная стержневая. Методы испытаний». Тогда этот стандарт обеспечит необходимое единство определения технических характеристик АПК при изготовлении арматуры, проектировании конструкций и при контроле качества строительной продукции.

Структура стержней композитной арматуры, состоящая из продольных нитей и оболочки, определяет особенности ее работы. Экспериментально установлено, что сначала растяжению подвергается оболочка арматуры, в дальнейшем в работу вступают внутренние продольно располо-

женные нити [7]. Исходя из этого можно предположить, что на предел прочности при растяжении стержневой композитной полимерной арматуры оказывает влияние диаметр стержней. В соответствии с ГОСТ 31938 композитную полимерную арматуру изготовляют диаметром от 4 до 32 мм.

Физико-механические характеристики АСК и АБК приведены в *табл. 2, 3*. Как показали анализ технической документации и результаты исследований [8–11], с увеличением диаметра стержней арматуры с 5 до 10 мм ее прочность при растяжении в отдельных случаях снижается на 35 %.

Таким образом, при проектировании бетонных конструкций приходится учитывать те значения характеристик АПК, которые

может обеспечить производитель, т. е. каждое проектное решение зависит от возможности конкретного предприятия, что в значительной степени ограничивает широкое применение композитной арматуры. Необходимо на основании комплексных экспериментальных исследований установить нормативные значения предела прочности при растяжении и модуля упругости при растяжении, которые будут обеспечены с заданной надежностью всеми изготовителями. Это сложная и трудоемкая процедура, поскольку на физико-механические характеристики АПК оказывают влияние многие факторы, в частности параметры технологического процесса [12]. В настоящее

время известны результаты испытаний стержней АПК диаметром от 4 до 12 мм, испытания стержней больших диаметров не проводились.

Решение задачи нормирования значений предела прочности при растяжении и модуля упругости для АПК, полученное в результате комплексных экспериментальных исследований, позволит проектировать конструкции с применением АПК безотносительно предприятия-изготовителя стержневой композитной арматуры.

#### В ы в о д ы

1. Существенное влияние на прочность при растяжении и модуль упругости при растяжении

АПК оказывает структура арматурных стержней. Сначала подвергается растяжению до определенных пределов оболочка арматурного стержня, в дальнейшем в работу вступают внутренние продольно расположенные нити.

2. При анализе технической документации и результатов испытаний установлено, что с увеличением диаметра арматурных стержней от 5 до 10 мм прочность арматуры при растяжении в отдельных случаях снижается на 35 %. Целесообразно установить закономерности влияния на прочность при растяжении и модуль упругости при растяжении диаметра стержней для всей номенклатуры АПК.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Римшин В. И., Меркулов С. И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
2. Степанова В. Ф., Степанов А. Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 45–47.
3. ACI 440 IR-06. Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars American Concrete Institute. 2006. 44 p.
4. FRP reinforcement in RC structures. International federation for structural concrete. Fib Bulletin 40. Lausanne, 2007. 147 p.
5. Banthia N. Fiber reinforced polymers in concrete construction and advanced repair technologies. URL: [http://www.underwater.pg.gda.pl/didactics/ISPG/Ceramika/NBanthia 15 Dec.pdf](http://www.underwater.pg.gda.pl/didactics/ISPG/Ceramika/NBanthia%2015%20Dec.pdf) (дата обращения: 27.06.2015).
6. Фролов Н. В., Обернихин Д. В., Никулин А. И., Лапшин Р. Ю. Исследование свойств композитной арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. № 3. С. 18–21.
7. Кустикова Ю. О., Римшин В. И. Напряженно-де-
- формированное состояние базальтопластиковой арматуры в железобетонных конструкциях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 6–9.
8. ТР 013-1-04. Технические рекомендации по применению неметаллической композитной арматуры периодического профиля в бетонных конструкциях. М. : НИИЖБ им. А. А. Гвоздева, 2004. 3 с.
9. Рахмонов А. Д. Прочность, жесткость и трещиностойкость неразрезных бетонных балок с комбинированным армированием: дис.... канд. техн. наук. Казань, 2015. 160 с.
10. Технические рекомендации по применению неметаллической композитной арматуры периодического профиля в бетонных конструкциях. М. : НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. М., 2012. 7 с.
11. СТО-02495307-007-2012. Применение неметаллической композитной арматуры АСП и АБП в бетонных конструкциях. М. : ООО НПФ «УралСпецАрматура». 2012. 20 с.
12. Степанова В. Ф., Красовская Г. М., Шахов С. В., Беленчук В. В. Композитная неметаллическая арматура // Труды 2-й Всерос. конф. по бетону и железобетону «Бетон и железобетон – пути развития» (5–9 сент. 2005). М., 2005. Т. 5. С. 476–482.

#### R E F E R E N C E S

1. Rimshin V. I., Merkulov S. I. Elements of theory of development of concrete structures with nonmetallic composite reinforcement. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 5, pp. 38–42. (In Russian).
2. Stepanova V. F., Stepanov A. Yu. Non-metallic composite reinforcement for concrete structures. *Promysh-*
- lennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 1, pp. 45–47. (In Russian).
3. ACI 440 IR-06. *Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars American Concrete Institute*. 2006. 44 p.
4. *FRP reinforcement in RC structures*. International fede-

- ration for structural concrete. *Fib Bulletin* 40. Lausanne, 2007. 147 p.
5. Banthia N. *Fiber reinforced polymers in concrete construction and advanced repair technologies*. Available at: [www.underwater.pg.gda.pl/didactics/ISPG/Ceramika/NBanthia 15 Dec.pdf](http://www.underwater.pg.gda.pl/didactics/ISPG/Ceramika/NBanthia%2015%20Dec.pdf) (accessed 27.06.2015).
  6. Frolov N. V., Obernikhin D. V., Nikulin A. I., Lapshin R. Yu. The study of the properties of composite reinforcement based on basalt and glass fibers. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 2015, no. 3, pp. 18–21. (In Russian).
  7. Kustikova Yu. O., Rimshin V. I. Stressed-deformed state of basalt-plastic reinforcement in reinforced concrete structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2014, no. 6, pp. 6–9. (In Russian).
  8. TR 013-1-04. *Tekhnicheskie rekomendatsii po primeniyu nemetallicheskoj kompozitnoy armatury periodicheskogo profilya v betonnykh konstruktsiyakh*. Moscow, NIIZHB im A. A. Gvozdeva Publ., 2004. 3 p.
  9. Rakhmonov A. D. *Prochnost', zhestkost' i treshchinos'toykost' nerazreznykh betonnykh balok s kombinirovannym armirovaniem* [Strength, stiffness and fracture toughness of continuous concrete beams with hybrid reinforcement]. Dis. kand. tekhn. nauk. Kazan', 2015. 160 p. (In Russian).
  10. *Tekhnicheskie rekomendatsii po primeniyu nemetallicheskoj kompozitnoy armatury periodicheskogo profilya v betonnykh konstruktsiyakh* [Technical recommendations for use of non-metal composite reinforcement with periodic profile in concrete structures]. Moscow, NIIZHB im A. A. Gvozdeva Publ., 2012. 7 p. (In Russian).
  11. STO-02495307-007-2012. *Primenenie nemetallicheskoj kompozitnoy armatury ASP i ABP v betonnykh konstruktsiyakh* [The use of non-metallic composite rebar ASP and ABP in concrete structures]. Moscow, OOO NPF «UralSpetsArmatura» Publ., 2012. 20 p. (In Russian).
  12. Stepanova V. F., Krasovskaya G. M., Shakhov S. V., Belenchuk V. V. Composite nonmetallic reinforcement: *Trudy 2-y Vseros. konf. po betonu i zhelezobetonu «Beton i zhelezobeton – puti razvitiya»* [«Concrete and reinforced concrete – development path»] (5–9 sent. 2005). Moscow, 2005, vol. 5, pp. 476–482. (In Russian).

Для цитирования: *Римшин В. И., Меркулов С. И.* О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 5. С. 22–26.

For citation: *Rimshin V. I., Merkulov S. I.* About normalization of characteristics of rod non-metallic composite reinforcement. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2016, no. 5, pp. 22–26. (In Russian).