

УДК 691.175.3

**НЕМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ КОМПОЗИТНАЯ СТЕРЖНЕВАЯ АРМАТУРА БЕЗ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННОГО
АРМИРОВАНИЯ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ИЗГИБАЕМЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

Гиль А.И.,

a.hil@psu.by

Лазовский Е.Д., к.т.н., доц.,

y.lazouski@psu.by

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрен вариант расширения области применения неметаллической композитной стержневой арматуры без предварительного напряжения в составе комбинированного армирования для изгибаемых железобетонных элементов. Выделены основные физико-механические характеристики, преимущества и недостатки композитной стержневой арматуры на основе различных высокопрочных волокон. Определены организационные и технологические трудности, препятствующие расширению области применения данного армирования. Приведены факторы, не позволяющие выполнять полную замену металлической арматуры на композитную стержневую арматуру эквивалентной прочности без предварительного напряжения. Представлена возможная область применения композитной арматуры в составе комбинированного армирования совместно с металлическими арматурными стержнями, при котором будут наиболее полно использованы ее физико-механические характеристики. Выделены проблемы и задачи, решение которых позволит применять комбинированное армирование в изгибаемых железобетонных элементах без предварительного напряжения.

Ключевые слова: композитная неметаллическая арматура, комбинированное армирование, железобетон, изгибаемые элементы.

**NON-METALLIC COMPOSITE ROD REINFORCEMENT WITHOUT
PRESTRESSING AS A PART OF COMBINED REINFORCEMENT: PROSPECTS
OF APPLICATION IN BENT REINFORCED CONCRETE ELEMENTS**

Hil A.I.,

a.hil@psu.by

Lazouski Y.D., Ph. D, Associate Professor,

y.lazouski@psu.by

Polotsk State University, Republic of Belarus

Annotation. The article considers a variant of expanding the scope of application of non-metallic composite rod reinforcement without prestressing as part of combined reinforcement for bent reinforced concrete elements. The main physical and mechanical characteristics, advantages and disadvantages of composite rod reinforcement based on various high-strength fibers are

highlighted. The organizational and technological difficulties hindering the expansion of the field of application of this reinforcement are identified. The factors that do not allow to perform a complete replacement of metal reinforcement with composite rod reinforcement of equivalent strength without prestressing are given. A possible field of application of composite reinforcement in the composition of combined reinforcement together with metal reinforcement rods, in which its physical and mechanical characteristics will be most fully used, is presented. The problems and tasks are highlighted, the solution of which will allow the use of combined reinforcement in bent reinforced concrete elements without prestressing.

Keywords: *composite nonmetallic reinforcement, combined reinforcement, reinforced concrete, bendable elements.*

В настоящее время современная строительная индустрия требует непрерывного роста эффективности и технологичности производства строительных изделий, снижения трудоемкости и экономических затрат, применения новых прогрессивных технологий материалов, конструкций и конструктивных систем. Одной из задач по развитию и совершенствованию строительных конструкций является расширение области применения неметаллического композитного стержневого армирования в изгибаемых железобетонных элементах. Данный вид армирования не является новым для Республики Беларусь, однако его применение не получило широкого распространения, в отличие от зарубежной строительной практики, где композитная неметаллическая стержневая арматура применяется в конструкциях зданий и сооружений, которые эксплуатируются в сильно агрессивных кислотных или щелочных средах, где необходимо обеспечить надёжную коррозионную защиту металлической стержневой арматуре, что является достаточно проблематичной задачей.

Композитная арматура (международное обозначение FRPC – fiber reinforced polymer composite (англ. полимерный композит, армированный волокном) представляет собой гетерогенную систему, состоящую из армирующего высокопрочного волокна, составляющего основу композита и определяющего его прочность и жесткость, и полимерной матрицы, выполняющей функцию связи волокон между собой, защиты поверхности от внешних воздействий при транспортировке, монтаже и эксплуатации, передачи усилий на волокно. В качестве исходного материала для армирующего волокна используется стекло, базальт, арамид, углерод, для полимерного связующего – различные виды термореактивных смол, в частности кремнийорганические, фенольноальдегидные, эпоксидные, высокотермостойкие полиамидные, полибензимидазоловые полимеры. Композитная неметаллическая арматура производится в виде стержней различного вида профиля, пластин, холстов [1].

В результате многочисленных исследований физико-механических свойств стержневой композитной арматуры на основе различных высокопрочных волокон [2-7]. Можно выделить следующие основные преимущества данной арматуры:

- высокая прочность на растяжение (от 1000 до 1500МПа);
- устойчивость к некоторым химическим воздействиям и неподверженность коррозии (кислот, щелочей, солей, морской и аммиачной воды, сернистого газа и влажной среды);
- не изменчивость свойств под воздействием электромагнитных полей;
- малый удельный вес;
- широкий диапазон рабочих температур: от -70 до +100⁰С;
- долговечность;
- не образует никаких продуктов коррозии;

– коэффициент теплового расширения совпадает с бетоном;

Однако наряду с преимуществами есть и определенные недостатки, основные из которых:

– низкий модуль упругости по отношению к металлической арматуре;

– низкая огнестойкость, при нагреве свыше $+100^{\circ}\text{C}$ происходит снижение заявленных физико-механических характеристик;

– трудности в технологии изготовления гнутых арматурных изделий;

– отсутствие надежных анкерных устройств для создания предварительного напряжения в арматуре;

– относительно высокая стоимость.

Вместе с тем, присутствуют значительные организационные и технологические трудности в области применения неметаллической композитной стержневой арматуры, требующие дополнительных исследований: отсутствие единых нормативных документов, регламентирующих ее физико-механические характеристики, отсутствие нормативных документов по расчету железобетонных конструкций с неметаллической композитной стержневой арматурой, отсутствие опыта применения таких конструкций, отсутствие единой методики определения и контроля физико-механических характеристик арматуры данного вида, кроме того, характеристики и геометрические параметры неметаллической композитной стержневой арматуры разных производителей существенно отличаются между собой [8].

Исходя из выделенных недостатков композитной стержневой арматуры, была определена одна из основных проблем внедрения ее в практику строительства, а именно: низкий модуль упругости и отсутствие площадки текучести. Применение данного вида армирования в качестве основного армирования растянутой зоны изгибаемых железобетонных элементов, как правило, приводит к их хрупкой форме разрушения. Это происходит, в первую очередь, вследствие повышенной деформативности и значительной ширины раскрытия трещин на ранних этапах загрузки. Одним из вариантов решения данной проблемы является предварительное напряжение неметаллической композитной арматуры [10-12]. Анализ приведенных работ, посвященных исследованиям изгибаемых железобетонных элементов с композитной предварительно напряженной неметаллической стержневой арматурой позволил сделать выводы, что композитную арматуру целесообразно использовать только с предварительным напряжением, а низкий модуль упругости композитной арматуры в самой значительной степени предопределяет её недостаточное использование и невозможность полной замены стальной арматуры. Кроме того, было обосновано использование существующих методов расчёта железобетонных изгибаемых конструкций со стальной арматурой применительно к композитной арматуре с уточнениями и дополнениями, исходя из свойств применяемой композитной стержневой арматуры. Так как теоретическая прочность бетонных элементов с полностью композитным армированием значительно превышает экспериментальную прочность, это приводит к необходимости корректировки существующего расчётного аппарата по прочности по нормальным сечениям.

На сегодняшний день полная замена стальной арматуры на композитную без предварительного напряжения невозможна, однако, при этом, для преднапряжения композитных стержней необходимо использование высокотехнологичных надежных анкерных устройств для стержней и эффективная технология изготовления конструкций. На сегодняшний день данные мероприятия не разработаны на должном уровне, что препятствует широкому применению изгибаемых преднапряженных железобетонных

конструкций. В конечном итоге, это приводит к тому, что неметаллическая композитная стержневая арматура практически не используется в качестве основного вида армирования растянутой зоны железобетонных изгибаемых конструкций.

Одним из решений данной проблемы является применение комбинированного армирования – введение в растянутую зону, армированную неметаллическими композитными стержнями, изгибаемого железобетонного элемента некоторого количества металлической стержневой арматуры. Согласно экспериментальным исследованиям [10], при применении такого вида армирования в растянутой зоне изгибаемых железобетонных балок, была получена пластическая форма разрушения образцов, а в их работе выделялась более протяженная стадия пластического деформирования, чем в аналогах с эквивалентным (по предельному растягивающему усилию) металлическим армированием.

Результаты данных исследований позволили эффективно применить неметаллическую композитную стержневую арматуру в изгибаемых железобетонных элементах без предварительного напряжения и предположить, что комбинированное армирование может иметь наиболее полезный эффект при применении в растянутой зоне сечений на промежуточных опорах статически неопределимых железобетонных балок, где, за счет более протяженной стадии пластического деформирования, будет происходить более рациональное перераспределение усилий между пролетными и опорными зонами элемента.

Выводы.

Применение неметаллической композитной стержневой арматуры без предварительного напряжения в составе комбинированного армирования растянутой зоны сечений на опорах изгибаемых статически неопределимых железобетонных балок значительно расширит область применения данного вида армирования и позволит более рационально использовать ее физико-механические характеристики. Ограничивающими факторами являются отсутствие методики расчета таких конструкций и данных экспериментальных исследований конструкций с предложенным видом армирования.

Таким образом, разработка научно обоснованной методики расчета сопротивления изгибаемых статически неопределимых железобетонных балок с комбинированным армированием растянутой зоны сечений на промежуточных опорах с учетом нелинейной работы материалов, позволяющей достоверно учесть перераспределение усилий между пролетными и опорными сечениями, является актуальной задачей в строительной науке и практике, а решение данного вопроса позволит расширить область применения неметаллической композитной стержневой арматуры без предварительного напряжения в Республике Беларусь.

Литература.

1. Гиль А.И. *Стеклопластиковая и углепластиковая арматура в строительстве: преимущества, недостатки, перспективы применения* / А.И. Гиль, Е.Д. Лазовский, Е.Н. Бадалова // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки.* – 2015. – №16. – С. 48-53.
2. fib 2005 "FRP Reinforcement for reinforced concrete structures", Task Group 9.3 (Fiber-Reinforced Polymer) Reinforcement for Concrete Structures, Lausanne, Switzerland, 2005 –173 p.
3. ACI 440.1R-03 "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA – 2003 – 81 p.
4. *Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber Reinforced Polymer Bars* – CNR–DT 203/206, Rome, June 2007 – 35 p.

5. Фролов Н.П. *Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции.* – М.: стройиздат, 1980. – 104 с., ил.
6. Зак, А. Ф. *Физико-химические свойства стеклянного волокна* / А. Ф. Зак. –М. : Ростехиздат, 1962. – 224 с.
7. Гвоздев А.А. *Арматура из стеклопластиков для армирования бетонных конструкций* / А.А. Гвоздев, К.В. Михайлов, И. Никула // *Бетон и железобетон.* – 1960. – №3. – с. 105-111.
8. Лешкевич, О.Н. *Перспективы применения композитной арматуры* / О.Н. Лешкевич // *Проблемы современного бетона и железобетона : материал Третьего междунар. симпоз. (Минск, 9-11 нояб. 2011 г.) : в 2 т. / [редкол.: М. Ф. Марковский (гл. ред.) и др.].* – Минск, 2011. – Т. 1 : *Бетонные и железобетонные конструкции.* – С. 262–268.
9. Тур В.В., *Экспериментальные исследования изгибаемых бетонных элементов с комбинированным армированием стальными и стеклопластиковыми стержнями* / Тур В.В. Мальха В.В. // *Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F Строительство. Прикладные науки.* – 2013. – №8. – С. 58-65
10. Польской П.П. *О влиянии стеклопластиковой арматуры на прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из тяжёлого бетона* //П.П. Польской, Мерват Хишмах, Михуб Ахмад // *Эл. журнал «Инженерный вестник дона», №4, Ростов-на-дону, 2012.*
11. Теплова Ж.С. *Проектирование и строительство элементов здания с использованием стеклопластиковых арматурных стержней ООО «СК»* / Ж.С. Теплова, С.С. Киски, Д.В. Немова, А.В. Соклов // *Сб. «Строительство уникальных зданий и сооружений»;* № 4 (19), М.: 2014, с. 62-74.
12. Лоскутов А.В. *Напряжённо-деформированное состояние бетонных конструкций с предварительно напряжённой композитной арматурой* / А.В. Лоскутов // *Сб. ст. международной научно-практической конференции «Инновационная наука и современное общество» в 2 ч. Ч.1; 5 декабря 2014 г., Уфа; Уфа: Аэтерна, 2014. с. 38-42*