

---

## К вопросу внедрения современных материалов и технологий в строительстве

*А.Г. Умаров<sup>1</sup>, З.А. Меретуков<sup>2</sup>, Р.Г. Умаров<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Донской государственный технический университет*

<sup>2</sup>*Майкопский государственный технологический университет*

**Аннотация:** Представлен анализ результатов масштабных экспериментальных исследований, выполненных на кафедре железобетонных и каменных конструкций ДГТУ. Он направлен на определение возможности эффективного внедрения в строительство новых композитных материалов. Данная статья касается вопросов прочности и жесткости изгибаемых железобетонных элементов, имеющих внутреннюю рабочую арматуру, изготовленную из композитных материалов, либо усиленных внешней стекло- и углепластиковой арматурой. Установлена возможность использования угле и стеклопластиковой рабочей арматуры для обычных изгибаемых элементов, в которых величина предельно допустимых прогибов не является определяющей. Доказана также высокая эффективность внешнего армирования при усилении железобетонных конструкций композитными материалами.

**Ключевые слова:** бетон, арматура, железобетон, композитные материалы, прочность, деформативность.

Для ответа на поставленные вопросы за основу были взяты исследования кафедры железобетонных и каменных конструкций ДГТУ. Они касаются работы железобетонных конструкций, выполненных из высокопрочных [1] и центрифугированных [2, 3] бетонов, в которых используется не только стальная, но и композитная рабочая арматура. В данной статье рассматриваются два фактора, а именно – возможность внедрения как внутренней, так и внешней рабочей композитной арматуры, на примере исследования прочности нормальных сечений изгибаемых элементов.

Начало статьи посвящено вопросам использования внутренней стекло- и углепластиковой рабочей арматуры [4, 5]. Исследования проводились на опытных образцах с классом бетона В35, всего испытано 36 балок сечением 125x250 мм и длиной 2000 мм.

Рабочая арматура в образцах располагалась в один или два ряда и имела три варианта армирования – только стальная или композитная и комбини-

рованная. Монтажная арматура - 2 стержня  $\varnothing 6,5$  В500. Поперечное армирование - двухсрезные хомуты  $\varnothing 6,5$  В500, с шагом 100 мм.

Стальная рабочая арматура, состояла из трех стержней (при расположении в один ряд) диаметром 12 мм класса А600, или из четырех стержней (в два ряда)

Композитная арматура была представлена также 3 стержнями  $\varnothing 12$  мм, изготовленными из стеклопластика (ССПА – 1200) или углепластика (CFRP – 2400).

В балках с комбинированным однорядным армированием, стальная рабочая арматура заменялась одним или двумя стержнями из стеклопластика или углепластика.

При двухрядном расположении арматуры в комбинированно армированных балках, композитная арматура попарно располагалась соответственно в первом или втором рядах.

В процессе испытания были получены следующие результаты.

Прочность образцов со стеклопластиковой рабочей арматурой, расположенной в один ряд, оказалась в среднем на 20% ниже, по сравнению с чисто железобетонными или эталонными образцами. В балках с комбинированным армированием, при замене одного или двух стальных стержней на стеклопластиковые, прочность уменьшилась на 13% и 22% соответственно.

Деформации опытных образцов при наличии только стеклопластиковых стержней, на этапе, предшествующем разрушению, оказалось наоборот в 2,5 раза выше. В балках с комбинированным армированием прогибы находились в прямой зависимости от процента композитного армирования. При замене одного стального стержня на стеклопластиковый, прогибы балок практически не изменялись. Однако при замене двух стальных стержней, прогибы образцов резко возрастают.

При использовании рабочей углепластиковой арматуры ситуация изменяется. В частности, прочность образцов, при однорядном расположении углепластиковой арматуры, увеличилась в среднем на 22% по сравнению с эталонными образцами. При этом деформации балок с углепластиковой арматурой, по-прежнему оказалось практически в 2,5 раза больше, во всем диапазоне нагрузок.

Изменилась картина по несущей способности и в балках с комбинированным армированием. При 30% замещении стальной арматуры на углепластиковую, прочность балок снижается незначительно. При замещении двух стальных стержней, комбинированное армирование становится уже менее эффективным, по сравнению с полным композитным армированием углепластиком, и это при том, что прочность углепластиковой арматуры в 4 раза выше, а модуль упругости практически равен стальной арматуре. Безусловно, это связано с надежностью анкеровки.

Балки, армированные двухрядной стальной или композитной рабочей арматурой, еще больше меняют картину напряженно-деформационного состояния. Прочность балок с углепластиковой композитной арматурой всего на 13% выше, по сравнению с балками, армированными только стальной арматурой. Это практически в 2 раза меньше, чем при однорядном расположении арматурных стержней, несмотря на увеличение площади сечения рабочей арматуры.

Прогибы опытных образцов при двухрядном расположении композитной арматуры по-прежнему в 1,5 раза выше, по сравнению с железобетонными образцами. Однако это превышение меньше, чем при однорядном расположении стержней, и равное 2,5 раза. По-видимому, это связано с увеличением жесткости каркаса при двухрядном расположении арматуры.

В балках, с комбинированным армированием, при расположении арматуры в два ряда, замена половины площади стальной арматуры на композит-

ную, практически не сказавшись на изменении прочности нормальных сечений, независимо от схемы расположения стержней углепластиковой арматуры в первом или втором рядах. Однако резко уменьшилась деформативность рассматриваемых образцов.

Прогибы балок с двухрядным комбинированным композитным армированием по отношению к эталонным балкам со стальной арматурой, увеличились всего на 9% при расположении углепластиковой арматуры в первом ряду и 15% - во втором.

Во второй части статьи рассматриваются вопросы, связанные с эффективностью внедрения композитной арматуры в качестве элементов внешнего армирования. Они приведены в работах [6]. Исследования проводились с использованием стекло- и углепластиковой арматуры.

В исследованиях варьировались вид и площади поперечного сечения композитной арматуры, а также наличие или отсутствие анкерных устройств. Всего к анализу было привлечено 22 опытных образца из тяжелого бетона с проектным классом бетона В35.

Габариты опытных балок были следующие: длина - 2200мм, сечение 125x250 мм.

Все опытные образцы были разбиты на две группы. В первой группе из 10 образцов рабочая арматура была выполнена из 2Ø12 А500, а во второй – из 2Ø14 А600.

Монтажная арматура для всех балок была одинаковой - 2Ø6 В500. Поперечное – армирование того же диаметра и класса было представлено замкнутыми хомутами, установленными с шагом 100 мм в пролетах среза и 150мм – в зоне чистого изгиба.

Балки в каждой группе были разбиты на 5 серий (по 2 или 4 балки в каждой). По две балки в каждой группе не усиливались и были приняты эта-

лонными. Остальные - попарно усиливались в растянутой зоне различными видами внешней композитной арматуры.

Для этих целей использовались трех или шестислойные холсты шириной 100 мм, выполненные из стекло или углеткани, а также углеламинаты, представленные одной или двумя полосами. Отдельные серии балок имели на торцах растянутых элементов усиления - анкерные устройства в виде U-образных хомутов, установленных снизу вверх.

Прочностные характеристики композитных материалов в составе холстов или полос-ламинатов были определены по результатам испытания образцов – восьмерок. Временное сопротивление трехслойных или шестислойных холстов стеклоткани марки EWR400, толщиной 0,255 мм, составило соответственно 732,6 и 679,5 МПа. Аналогичные холсты из углеткани марки CF 230/4900/3000 толщиной 0,166 мм показали прочность, равную 3000 и 2900 МПа. Углеламинаты были представлены полосами CF210/2800.50X1,4 толщиной 1,4 мм и шириной 50мм.

Анализ результатов испытания, представленных в открытой печати, позволяют отметить, что система усиления железобетонных конструкций MBRACE показала высокую эффективность и надежность композитного усиления, однако имеет свои особенности.

Прочность и деформативность железобетонных балок, усиленных внешним композитным армированием, зависит от вида стальной и композитной арматуры, процентов их армирования, наличия или отсутствия анкерующих хомутов U-образной формы. Аналогичные результаты получены в исследованиях [6-8].

Отметим также, что увеличением процента стального армирования, равно как и увеличение прочности стальной арматуры, приводит к снижению эффективности композитного усиления.

Наличие U-образных хомутов-анкеров, наклеенных по всей высоте усиливаемых балок, приводит к увеличению прочности на 25-50%. При этом эффективность анкерных устройств, по сравнению с вышеизложенным, повышается с увеличением процента композитного армирования. Последнее для переармированных элементов, без анкеров – в принципе невозможно.

Это, на наш взгляд, связано с тем, что усиление железобетонных конструкций композитными материалами в значительной степени изменяет их расчетную схему. В результате, балки при наличии анкеров начинают работать по схеме арки с затяжкой или свода. Аналогичные результаты были зафиксированы и в работах [7, 8].

Полученные результаты указывают также на необходимость уточнения принципов конструирования элементов композитного усиления, что пока не отражено также и в сводах правил [9, 10].

Анализ результатов исследований, связанных с использованием композитных материалов в качестве элементов внутреннего и внешнего армирования позволяет сделать следующие **выводы**:

1. Несмотря на практически четырехкратное превышение прочности стеклопластиковой арматуры, по сравнению со стальной, ее использование из-за чрезмерно низкого модуля упругости может быть реализовано только для тех конструкций, к которым не предъявляются требования по ограничению деформаций конструкций.

2. Вопрос использования стержневой арматуры, изготовленной из углепластика, для рядовых железобетонных конструкций пока не рентабелен. Причина кроется в неполном использовании прочности углепластиковой арматуры, из-за низкого сцепления с бетоном. Повышенная деформативность балок в нашем случае была связана, с отсутствием рифления поверхности указанной арматуры, а установка кустарных анкеров на торцах композитных стержней – оказалась малоэффективной. Появление на строительном рынке

углепластиковой арматуры с заводскими анкерами или рифлением поверхности такой арматуры в процессе ее изготовления, требует проведения дополнительных экспериментов. Однако, в любом случае, использование круглой углепластиковой арматуры, ввиду ее высокой стоимости, требует технико-экономического обоснования.

3. Возможность использования стекло- и углепластиковой арматуры в качестве элементов внешнего армирования при усилении железобетонных конструкций – не вызывает сомнений. Однако предпочтение здесь необходимо отдавать элементам усиления на основе углепластиков, которые имеют высокий модуль упругости, сопоставимый с традиционной стальной арматурой.

4. Проведенные на кафедре железобетонных и каменных конструкций ДГТУ комплексные исследования подтвердили высокую надежность и эффективность внешнего композитного армирования при усилении изгибаемых железобетонных конструкций и нашло отражение в реальных проектах, разработанных кафедрой, при усилении дефектных конструкций.

### Литература

1. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писаренко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. 208 с.
2. Штайерман Ю.Я. Центрифугированный бетон. – Тифлис: Изд-во «Техника для Шрома», 1933. 107 с.
3. Несветаев Г.В., Нажуев М.П., Ву Ле Куен. Изучение изменения состава бетонной смеси и кинетики прочности бетона при центрифугировании на примере опыта производства опор ЛЭП на предприятиях Социалистической Республики Вьетнам // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4861](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4861).
4. Маилян Д.Р., Польской П.П. Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин // Инженерный

- 
- вестник                      Дона,                      2013,                      №2.                      URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675.
5. Маилян Д.Р., Польской П.П., Мерват Х., Кургин К.В. О прочности балок из тяжелого бетона при использовании стальной, углепластиковой и комбинированной арматуры, расположенной в два ряда // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2096.
6. Польской П.П. Маилян Д.Р. Об уточнении расчета прогибов балок, усиленных композитными материалами // Научное обозрение, 2014, №12. С. 493-495. URL: elibrary.ru/item.asp?id=23215787.
7. Zhang Ai-hui, Jin Wei-liang, Li Gui-bing. Behavior of preloaded RC beams strengthened with CFRP laminates // Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 2006. Vol. 7. №3. pp. 436-444 URL: link. Springer.com/article/10.1631/jzus.2006.A0436.
8. Mander J. B.; Priestley M. J. N., Park R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete // Journal of structural Engineering. Vol. 114. №8. 1988. URL: doi.org/10.1061/(ASCE) 0733-9445(1988)114:8(1804).
9. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures // ACI 440.2R-08. American Concrete Institute 2008, p. 76.
10. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1 // General Rules and rules for buildings, 2004, p. 229.

### References

1. Berg O.YA. Shcherbakov E.N., Pisarenko G.N. Vysokoprochnyy beton. [High strength concrete]. M.: Stroyizdat, 1971. 208 p.
2. Shtayerman Yu.Ya. Centrifugirovannyy beton. [Centrifuged concrete]. Tiflis: Izdatel'stvo "Tekhnika dlya Shroma", 1933. 107 p.



3. Nesvetayev G.V., Nazhuyev M.P., Vu Le Kuyen. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4861](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4861).
4. Mailyan D.R., Pol'skoy P.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1675).
5. Mailyan D.R., Pol'skoy P.P., Mervat KH., Kurgin K.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2096](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2096).
6. Pol'skoy P.P. Mailyan D.R. Nauchnoe obozrenie. 2014, №12. pp. 493-495. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=23215787](http://elibrary.ru/item.asp?id=23215787).
7. Zhang Ai-hui, Jin Wei-liang, Li Gui-bing. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A. 2006. Vol. 7. №3. pp. 436-444. URL: [link.springer.com/article/10.1631/jzus.2006.A0436](http://link.springer.com/article/10.1631/jzus.2006.A0436).
8. Mander J. B.; Priestley M. J. N., Park R. Journal of structural Engineering. Vol. 114. №8. 1988. URL: [doi.org/10.1061/ \(ASCE\) 0733-9445\(1988\) 114:8\(1804\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804)).
9. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. ACI 440.2R-08. American Concrete Institute 2008, p. 76.
10. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1. General Rules and rules for buildings, 2004, p. 229.