

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА  
БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)  
АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)  
ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:  
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

Электронный сборник статей  
международной научной конференции,  
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией  
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;  
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2018

*Редакционная коллегия:*

А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),  
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,  
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ** [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Рассмотрены организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь  
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

## УСИЛЕНИЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ ТКАНЕЙ

*А.Р. Волик, Т.С. Новикова, А.А. Свинцицкий*

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Беларусь

email: a.volick@grsu.by, tanyu013@mail.ru, fewgma@mail.ru

*Представлены результаты экспериментальных исследований железобетонной балки, усиленной углеродной лентой FibArmTap в качестве внешней арматуры на растянутой грани. Анализ экспериментальных данных показал, что усиление железобетонных балок путем наклейки углеродной ленты на растянутую грань увеличивает несущую способность в 3,47 раза.*

*Ключевые слова: усиление, железобетонная балка, несущая способность, композитная ткань, углеродная лента.*

## STRENGTHENING OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH APPLICATION OF COMPOSITE TISSUE

*A. Volik, T. Novikova, A. Svintsitskyi*

Yanka Kupala State University of Grodno, Belarus

email: a.volick@grsu.by, tanyu013@mail.ru, fewgma@mail.ru

*The article presents the results of experimental studies of a reinforced concrete beam reinforced by carbon tape FibArmTap as external reinforcement on the tensile face. Analysis of the experimental data showed that reinforcement of reinforced concrete beams by sticking a carbon tape on the tensile face increases the bearing capacity by 3.47 times.*

*Keywords: strengthening, reinforced concrete beam, bearing capacity, composite cloth, carbon tape.*

В последние годы остро обозначилась проблема восстановления эксплуатационных характеристик железобетонных конструкций, поврежденных в результате природных воздействий, техногенных аварий и катастроф. Кроме того, эксплуатация железобетонных конструкций в условиях агрессивных сред, температурных и климатических воздействий, а также изменения технологии эксплуатации и увеличение в результате реконструкции нагрузок приводят к необходимости работ по восстановлению и усилению железобетонных конструкций.

В связи с этим разработано большое количество способов усиления железобетонных конструкций: изменение геометрических размеров поперечного сечения; устройство внешних конструкций (затяжек, опор и т.д.), которое приводит к изменению архитектурного вида сооружения; устройство дополнительного внешнего армирования из металлических уголков, листовой стали, дополнительной арматуры на полимеррастворе и др.

Анализ железобетонных конструкций показал то, что изменение геометрических размеров поперечного сечения и устройство внешних конструкций исчерпало себя. Дальнейшее их развитие принесёт незначительную экономию материалов, в то время как существует потребность в гораздо большей экономии.

В настоящее время для восстановления железобетонных конструкций предлагается использование композитных материалов. Усовершенствование железобетонных конструк-

ций с использованием композитных материалов поможет достичь большей экономии материала, однако необходимо обеспечить эффективное использование свойств каждого материала и их совместную работу. Для решения этих вопросов возможно использование пассивных методов усиления, а именно наклеивание композитных тканей, холстов.

Усиление железобетонных конструкций композитными тканями имеет ряд преимуществ по сравнению с усилением традиционными методами:

- сохраняется первоначальное сечение элемента конструкции;
- усиление стен, несущих конструкций и перекрытий не влечет увеличение массы конструкций;
- композитные материалы имеют высокую коррозионную стойкость;
- простое применение, сжатые сроки при производстве работ;
- возможно избежать возведения сложных подмостей, не требуется грузоподъемное оборудование;
- отсутствуют размерные ограничения, так как длина холстов и ламинатов составляет не менее 50 м.

В большинстве случаев усиление конструкций (в том числе и несущих) предлагается углепластиком, которое оказывается конкурентоспособно по сравнению с традиционными методами как по срокам производства работ, так и по стоимости. Несмотря на высокую стоимость композитов, использование их для усиления строительных конструкций во многих случаях оказывается экономически целесообразно, так как реконструкцию можно выполнять без вывода сооружения из эксплуатации, при этом значительно сокращается трудоемкость производства. Сравнение композиционных материалов различных фирм показывает, что для каждой системы эквивалентные уровни напряжений могут быть обеспечены путем изменения ширины или количества уложенных слоев. Преимущество полос большой ширины при фиксированном усилении заключается в увеличении площади сцепления и соответствующем снижении контактных напряжений.

В результате экспериментальных исследований [1] было установлено, что балки, армированные углеродным холстом, работают более упруго и имеют повышенную жесткость по сравнению с железобетонными балками. Прочность таких балок зависит от способа укладки армирующего холста и, соответственно, от его сцепления с бетоном. При соответствующем обосновании армирование бетонных балок углеродными холстами может быть альтернативой предварительно напряженной стальной арматуре.

В настоящее время осуществляется производство различного вида композитных материалов, однако нормативная база по использованию композитных материалов отсутствует. Поэтому данная работа актуальна и позволяет эффективно использовать композитное армирование в бетонных и железобетонных конструкциях.

Для определения эффективности усиления изгибаемых элементов композитной тканью (углеродной лентой) были проведены экспериментальные исследования балок размерами 60×120×1000 мм, усиленные композитной тканью (углеродной лентой Fib Arm Tap 530/300). Балки были изготовлены на заводе КПД ОАО «Гродножилстрой» из бетона класса С25/30.

За образец эталон (Б1) выбрана железобетонная балка, армированная сварным каркасом, изготовленным при помощи точечной сварки из арматуры класса S500. Балка армирована. Второй образец – железобетонная балка (Б2), усиленная одним слоем углеродной ленты Fib Arm Tap. Внутреннее армирование балки такое же, как и у балки Б1: в растянутой зоне армирована металлической арматурой Ø8 класса S500. Поперечная арматура Ø4 класса S500 установлена с шагом 50 мм, арматура сжатой зоны – Ø8 класса S500 (рис. 1). Сцепление углеродной ленты с бетоном выполнено с помощью эпоксидного клея на трех поверхностях (две торцевых и нижняя).

Испытания опытных балок производили по балочной схеме с приложением сосредоточенных усилий в третях пролета.

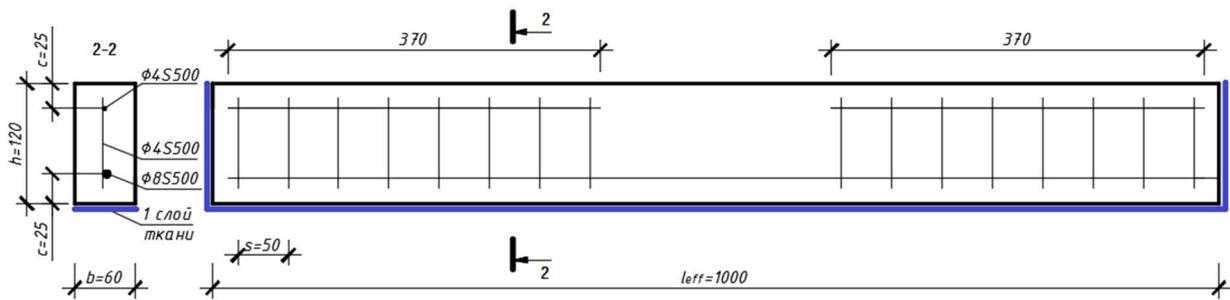


Рисунок 1. – Схема армирования усиленной балки

Анализ результатов несущей способности экспериментальных балок показал (рис. 2), что:

- разрушение эталонной железобетонной балки (Б1) произошло по нормальному сечению в зоне чистого изгиба в результате пластических деформаций в растянутой зоне арматуры, приводящих к раздроблению бетона сжатой зоны. Величина разрушающего момента составила 1,35 кНм.

- разрушение усиленной балки (Б2) произошло по нормальному сечению в зоне чистого изгиба с величиной разрушающего момента 3,75 кНм. В процессе нагружения балки (Б2) при нагрузке 13 кН появилось отслоение краев углеродной ленты FibArmТарв центральной части балки. При достижении нагрузки 20 кН произошел отрыв ткани на правом торце балки Б2 и снизилась нагрузка до 8,7 кН, балку повторно нагружали. Балка Б2 равномерно нагружалась до 25 кН, затем произошел отрыв ткани по контуру, нагрузка снизилась до 10 кН и произошло разрушение балки без разрыва ткани.

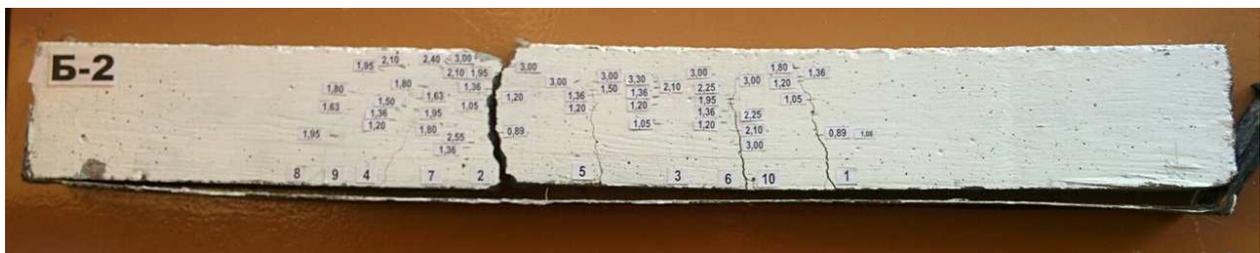
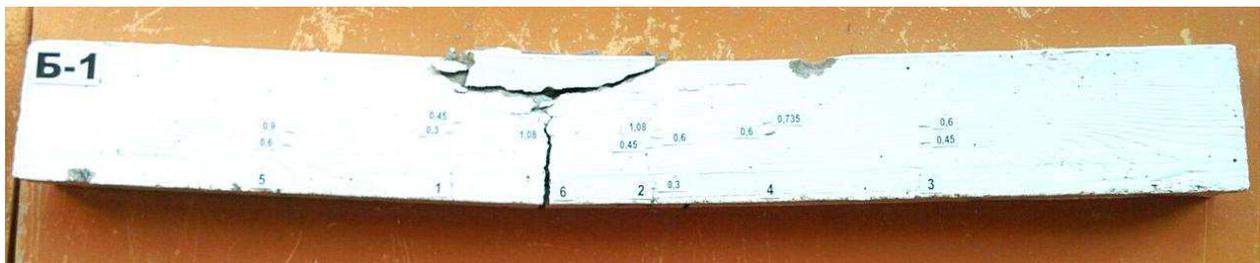


Рисунок 2. – Характер разрушения экспериментальных балок

Момент трещинообразования в железобетонной балке Б1 составил 0,3 кН·м, что составляет 28% от разрушающего момента, в усиленной балке Б2 – 0,89кН·м, что соответствует 24%  $M_{rd}$ .

Анализ экспериментальных данных показал (рис. 3), что усиление железобетонных балок путем наклейки углеродной ленты на растянутую грань увеличивает несущую способность в 3,47 раза.

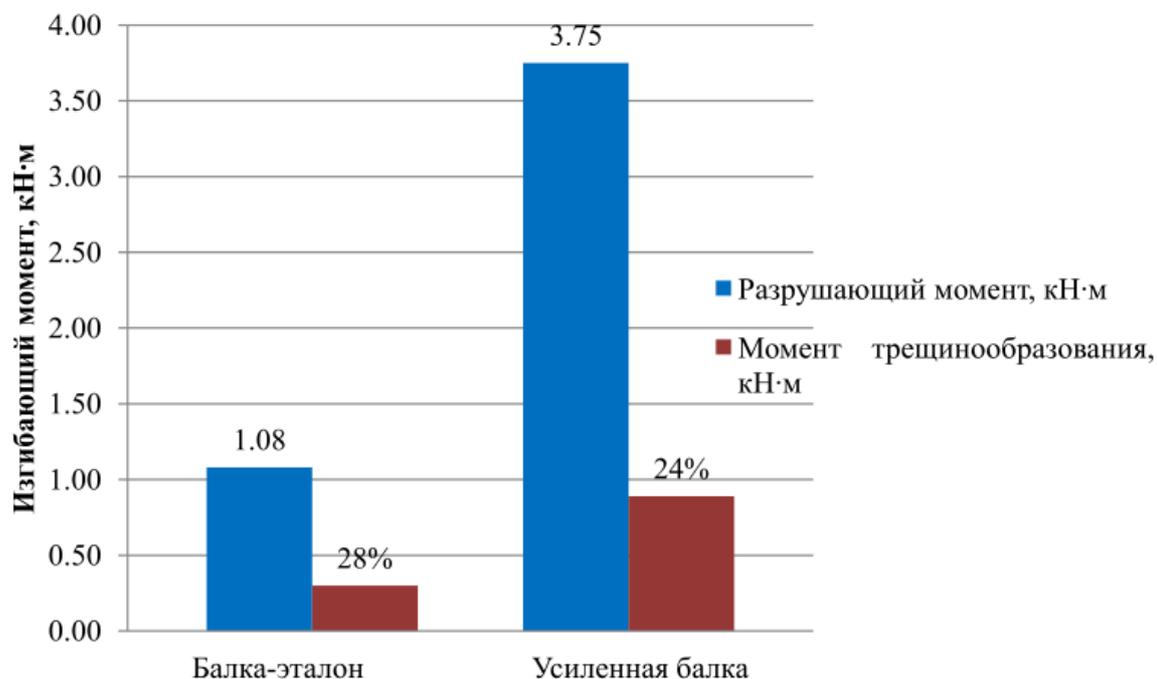


Рисунок 3. – Сопоставление разрушающих моментов и моментов образования трещин для испытываемых балок

**Вывод.** Проведённые экспериментальные исследования показали возможность использования углеродной ленты FibArmTap в качестве внешней арматуры на растянутой грани в изгибаемых железобетонных балках. Внешнее армирование одним слоем углеродной ленты способствует увеличению несущей способности балок на 347%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Применение неметаллических материалов в качестве основного армирования бетонных изгибаемых элементов / Я.А. Пронозин [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 7. – С. 60–61.
2. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. – М. : ООО «Интераква», 2006. – 50 с.
3. Овчинников, И.Г. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитными материалами / И.Г. Овчинников, Ш.Н. Валиев // Наукоеведение. – 2012. – С. 1–22.
4. Reinforced plastics [Electronic resource] / Connecting the materials community. Materials today. – Mode of access: <http://www.materialstoday.com/composite-industry/features/the-grp-market-in-europe-2015>. – Date of access: 23.11.2015.