

site materials based on filaments, strands, nonwoven tapes with high glass, basalt and other fibers impregnated with polymeric binders.

In order to prevent the displacement of flexible contours along the angular elements, they are made of depressions (cutouts), in which the cuvette material is placed. When using flexible elements for composite materials after hardening of coiling is performed at the appropriate temperature (depending on the polymer binders used cold or hot curing).

After that column crimped by prestressing the flexible element through the collection of pairwise neighboring branches flexible elements spans the middle (between angular elements). The accumulation is performed simultaneously on the opposite sides of the column with the help of simple mechanisms of manual action (screw or lever). The use of

powerful hydrodrals or other means for this purpose is not required, since the transverse force of pulling the branches of flexible elements is 10-20 times less longitudinal effort required for the previous tension of these elements. Achieved in flexible prestressing elements fixed with cable ties - clamps. Thus, a volumetric stress state of the column, which greatly increases its carrying capacity.

We present the figures and calculations explaining the essence of the method and determine power settings and tensions arising in the branches of the flexible elements in stone, masonry columns yany aggrivated.

**Key words:** stone column (pillar), stone masonry, cling, flexible element, preliminary tension.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-93-3-137-143

УДК 624.21

**Кожушко В.П., Сова Я.И., Воронова Е.М.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет  
(ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, Украина; e-mail: kmksm@ukr.net)*

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ**

В статье рассматривается опыт применения композиционных материалов для усиления железобетонных балок пролетных строений мостов как отечественный, так и зарубежный. Анализ литературы по данному вопросу показал, что применение данного метода при усилении железобетонных балок в Украине имеет единичные случаи, тогда как в России применение композиционных материалов набирает обороты. Хотя нормативная база находится в разработке и полностью не изучена работа композиционных материалов в условиях нашего климата, технология выполнения работ заимствуется у стран-производителей данного материала. Таким образом, целью данной работы является выявление степени изученности вопроса и актуальности применения композитных материалов для усиления главных балок пролетных строений железобетонных мостов. Для выполнения этой задачи проведен анализ существующих методик расчета, а также изучен опыт усиления балок композитными материалами при ремонте и реконструкции сооружений. Таким образом, вопрос оптимального месторасположения и количества армирующего материала остается открытым, так как усиливающий материал имеет достаточно высокую стоимость переизбыток усиления приведет к нежелательному удорожанию ремонта, а недостаточное усиление не даст желаемого результата.

**Ключевые слова:** композитный (композиционный материал), изгибаемый железобетонный элемент, методика расчета, система усиления, материалы FRP.

**Введение.** На автодорогах Украины эксплуатируются 28500 мостов и путепроводов. В процентном соотношении: автодорожные мосты составляют 72%, из них 80%

расположены на автодорогах общего пользования и 20% в населенных пунктах; железнодорожные мосты – 28%.

*НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 93, №3, 2018*

Мосты Украины строились с использованием всех материалов, используемых в мостостроении, в частности железобетонные мосты составляют 91% от общего числа мостов в Украине, металлические – 6%, каменные и деревянные – 3%. 85% от общего количества железобетонных мостов – сборные. Долговечность ж/б мостов не превышает 40 лет при отсутствии надлежащей эксплуатации и 70-100 лет при нормальной эксплуатации.

Согласно оценкам экспертов [1] на дорогах общего пользования Украины в настоящее время более 64 % мостов, а на коммунальных дорогах более 72 % мостов полностью или частично не соответствуют предъявляемым к ним требованиям действующих нормативных документов по грузоподъемности или габаритам. При этом более 700 автодорожных мостов требуют капитального ремонта или реконструкции.

Основными причинами такого состояния мостов являются:

- недостаток средств, предусмотренных бюджетом на содержание и ремонт мостов;
- многократного изменения норм проектирования за последние 50 лет;
- нарушение правил технологии строительства;
- ошибки при проектировании мостов.

Ошибки при проектировании мостов встречаются довольно часто [2]. Долгое время применялись конструкции пролетных строений из разработанных типовых проектов, в которых балки уже были рассчитаны для пропуска временных нагрузок, соответствовавших действующим в то время нормативных документов. Применение типовых проектов значительно облегчало задачу проектировщиков, так как не требовалось выполнять расчет элементов пролетных строений. Но с изменением нормативной документации типовые схемы пролетных строений, приведенные в типовых проектах, стали устаревать, но по -

прежнему использовались проектировщиками с изменением количества главных балок от рекомендованных типовыми проектами. Но немаловажно и качество выполнения работ, так как зачастую при уширении мостовых сооружений существующая часть пролетного строения и достраиваемая не объединяются, что приводит к снижению несущей способности мостового сооружения.

Из-за дороговизны строительства и, исходя из того, что сеть автомобильных дорог Украины была сформирована в течение 50-х – 70-х годов, в последние десятилетия особое внимание уделяется ремонту и реконструкции мостов с максимальным использованием существующих конструкций сооружений.

Одним из развивающихся направлений в области ремонта и реконструкции мостов является усиление балок пролетных строений мостовых сооружений композитными материалами.

**Анализ публикаций.** Производство и применение композитных материалов в разных странах имеет свои особенности и свою историю.

Одним из первых упоминаний о применении композитов приходится на 70-е годы в Японии. Тогда было выявлено, что практическое применение листового FRP особенно эффективно для усиления конструкций в связи с малым весом материала, удобством установки листов вручную, минимальным объемом подготовительных работ, длинномерностью элементов, позволяющей сократить количество швов, и, главное, стойкостью материала к коррозии. Однако, чрезмерно высокая стоимость материалов не способствовала в то время их быстрому и широкому развитию.

Позже, подобные попытки применения композитов для усиления существующих сооружений принимались в Великобритании, Швейцарии, Канаде и США.

В США композитные материалы FRP находят достаточно широкое применение. Они используются для усиления существующих конструкций и в настилах пролетных строений вновь строящихся мостов [3].

Все чаще композитные материалы используются при ремонте железобетонных конструкций мостовых сооружений в Российской Федерации. Поэтому вопросом изучения характеристик композитных материалов занимается все больше ученых. Их исследования связаны с наработкой ряда данных, которые впоследствии позволят вывести алгоритм расчета усиления композитными материалами элементы пролетных строений и расчетные схемы, а также позволят создать нормативную базу.

В Украине же применение композиционных материалов для усиления имеет единичные случаи. Данная технология начала изучаться только в 2000-х годах.

**Реализация задачи.** Композиционные материалы (КМ), композит — многокомпонентные материалы, состоящие, как правило, из пластичной основы (матрицы), армированной наполнителями, обладающими высокой прочностью, жесткостью и т. д. Сочетание разнородных веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств. Многие композиты превосходят традиционные материалы и сплавы по своим механическим свойствам и в то же время они легче. Использование композитов обычно позволяет уменьшить массу конструкции при сохранении или улучшении её механических характеристик [4].

Системы усиления на основе композитных материалов лишены недостатков, присущим вариантам усиления с применением стальных арматурных и профильных элементов, т.к. обладают ничтожно малым

весом, по сравнению со стальными элементами, не подвержены коррозии даже в агрессивных средах, высота сечения элементов усиления из композитного материала ничтожно мала и практически не изменяет подмостовой габарит сооружения. Кроме того, после соответствующей обработки усиленной поверхности (окраска, шпаклевка и т.п.) композитные элементы усиления незаметны невооруженным глазом и никак не меняют эстетических свойств сооружения [5].

Последние исследования российских ученых показали, что при использовании в виде усиления композиционный материал необходимо учитывать такие свойства композита как:

- ползучесть в слое материала;
- воздействие температурного фактора на усиленные элементы;
- деформации отслоения композита.

Исходя из результатов исследования [6] можно сделать вывод, что при длительном статическом нагружении железобетонных конструкций, усиленных композиционными материалами, в элементах усиления проявляется ползучесть. Экспериментальным путем установлено, что «процесс развития ползучести в элементах усиления конечен и стабилизируется в течении 120 суток». Таким образом, в расчетах по предельным состояниям необходимо учитывать возможное развитие вязко-упругих деформаций в элементах усиления.

Элементами усиления в композитных системах являются холсты из углеродных волокон и клей. Так как температура в летний период в Украине достигает 50°C, а в зимнее время -35°C стоит вопрос о том как на композитное усиление влияет температура в процессе замораживания и оттаивания. Испытания с попеременным оттаиванием и замораживанием [7] образцов железобетонных элементов, усиленных композитными материалами, самого композита и клея показывают, что на прочностные ха-

рактические характеристики композитного материала, адгезию клея к бетонной поверхности и, собственно, несущую способность железобетонных образцов практически не оказывает влияние. Однако температура оказывает влияние на характер разрушения балок. При повышенных температурах происходит обрыв усиливающего холста, а при отрицательных – разрушается защитный слой арматуры.

Наиболее вероятные варианты разрушений – это отслоение композита из-за раскрытия нормальных и наклонных трещин, а так же разрушение в результате отслоения защитного слоя бетона или же отслоение композита из-за неровной поверхности бетона [8]. При отслоении композита из-за раскрытия нормальных и наклонных трещин разрушение происходит на небольшую глубину, оставляя при этом на поверхности композита фрагменты поверхностного слоя бетона толщиной 1-5мм. Для разрушения в результате отслоения защитного слоя бетона характерно то, что весь отслоившийся бетон остается на поверхности композитного материала. Как показывает практика, российская методика расчета усиленных конструкций композитами не самая надежная, т.к не отражает результаты современных исследований и развивается по пути заимствования зарубежных разработок.

Для определения прочности нормальных сечений, усиленных наклеиваемым ленточным композитом, в Украине разработана методика расчета, основанная на нелинейной деформационной модели [9]. Данная методика прошла ряд как лабораторных, так и экспериментальных исследований. Кроме того, она была опробована при усилении существующего моста через р. Прут в с. Заречье Ивано-Франковской области. За основу предложенного расчета взята методика норм проектирования железобетонных конструкций России СП 52-101, но уже адаптированная для расчета усиленных наклеенными лентами CFRP элементов.

Высокая стоимость композитных материалов тормозит процесс исследования их эффективности при усилении железобетонных балок пролетных строений. Однако ряд украинских ученых экспериментально и теоретически подтвердили эффективность усиливающей системы Sika для увеличения прочности и жесткости железобетонных элементов. Кроме того, экспериментально доказали, что конструктивная система продолжает работать и воспринимать нагрузку даже после достижения арматурой границы текучести, хотя при этом значительно возрастают деформации бетона, арматуры и композитной ленты [10].

Конкурирующей с системой Sika, являются системы усиления Ruedil X Mesh Gold, которая относится к принципиально иной группе композитных материалов FRCM (Fiber Reinforced Cementations Matrix), так как стабилизирующей матрицей тут выступает раствор на основании цементного вяжущего. Это отличие дает FRCM композитам много преимуществ в сравнении с композитами группы FRP: отличная адгезия с влажными поверхностями; нечувствительность к UV-излучениям; отсутствие токсичных составляющих; высокая термостойкость. Результаты их исследований показывают, что данная система помогает добиться эффекта усиления в размере 16,7%...27,58% [11].

Немаловажно выполнять усиление железобетонных элементов мостов полимерными композиционными материалами без остановки движения. По результатам натуральных испытаний мостов [12], усиленных полимерными композитными материалами, был сделан вывод, что при таком варианте проведения ремонтных работ необходимо ограничение прохода грузового транспорта во время полимеризации клеящего слоя системы внешнего армирования, а также необходим учет воздействия легкого автомобильного транспорта при рас-

чете элементов систем усиления. А сооружение, усиленное полимерными композитными материалами, при осмотре спустя год показали, что материал не выключился из совместной работы, повреждений, влияющих на несущую способность и прочность бетона и композита, не выявлено, расхождения данных по повторным испытаниям не превышают 4% от первоначальных данных.

Однако, все ученые сходятся во мнении, что данный вопрос еще изучен в недостаточной мере. Одним из актуальных вопросов для изучения является износостойкость и долговечность композитных материалов.

Износостойкость и долговечность материалов FRP была предметом многих исследований, однако эти исследования по-прежнему продолжаются. Так же при применении данных материалов необходимо учитывать конкретные условия окружающей среды и условия загрузки [13-15].

Применение материалов FRP набирает обороты, но данные материалы еще имеют ряд неизученных аспектов.

**Выводы.** Несмотря на то, что уже проведено немало исследований как теоретических, так и практических, в области применения композитных материалов для усиления железобетонных балок мостов и отмечено, что прочность и жесткость усиленных балок возрастает более чем в 2 раза [16], в Украине нет соответствующей нормативной документации и рекомендаций по применению такого вида усиления балок. Кроме того, вопрос об оптимальном армировании, а также местоположении армирования и анкеровке материалов усиления остается открытым, поэтому в дальнейшей работе будет рассмотрен данный вопрос и проведены соответствующие теоретически-экспериментальные исследования. Для определения напряженно-деформированного состояния элементов, усиленных композитными материалами пролетных строений мостов при воздействии на них различных временных

нагрузок будет применен метод, разработанный В.П. Кожушко, позволяющий определить ординаты линий влияния усилий, передаваемых поперечными элементами на продольные полосы, при любом количестве продольных полос [17].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бородай Д.И. Проектирование жизненного цикла изгибаемых элементов железобетонных автодорожных мостов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18858041>
2. Кожушко В.П. Работа пролетного строения реального сооружения. / В.П. Кожушко, А.Г. Кислов, А.С. Лозицкий, С.Н. Краснов, Е.В. Синьковская // Науковий вісник будівництва. – 2016. - Т.86. - №4. - С.117-121.
3. Производство и применение композитных материалов в разных странах. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://stroyspot.ru/news/237-primenenie\\_kompozitnyh.html](https://stroyspot.ru/news/237-primenenie_kompozitnyh.html)
4. Композиционный материал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Композиционный\\_материал](https://ru.wikipedia.org/wiki/Композиционный_материал).
5. [СтройкаУрал. рф](#) / Статьи по ремонту и строительству. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.stroikaural.ru/tag53/innovatsionnyj\\_podxod\\_k\\_usileniju\\_avtomobilnyx\\_mostov/](http://www.stroikaural.ru/tag53/innovatsionnyj_podxod_k_usileniju_avtomobilnyx_mostov/).
6. Селиванова Е.О. Экспериментальные исследования ползучести в композиционных материалах, усиливающих изгибаемые железобетонные элементы / Е.О. Селиванова, Д.Н. Смердов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2017. - №2. - С.95-99.
7. Овчинников И.И. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. - Часть 2. Влияние температуры / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Г.В. Чесноков, Е.С. Михалдыкин // Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167. - 2016. - Том 8. - №4.
8. Быков А. А. Расчет деформаций отслоения композита для усиленных изгибаемых железобетонных элементов. / А.А. Быков, А.Н. Третьякова, А.В. Калугин // Вестник ТГАСУ. - 2014. - № 3. - С.112-122.

9. Кваша В.Г. Розрахунок міцності нормальних перерізів залізобетонних балок, підсиленних зовнішнім наклеєним армуванням, на основі деформаційної моделі / В.Г.Кваша // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - Рівне: НУВГП, 2008. - Вип. 16. - Ч.1 - С.363-371.
10. Мельник І.В. Експериментальні дослідження деформативності залізобетонних балок, підсиленних під навантаженням композитною системою SIKА CARBODUR. / І.В. Мельник, Р.З. Добрянський, Н.Б. Давидовський, В.О. Крет // Національний університет «Львівська політехніка». Електронний ресурс.
11. Йовчик О.Д. Міцність залізобетонних балок, підсиленних під навантаженням системою RUREDIL X MESH GOLD. / О.Д. Йовчик, П.І. Країнський, Р.В. Вашкевич, Р.Є. Хміль, З.Я. Бліхарський // Національний університет «Львівська політехніка». Електронний ресурс.
12. Бокарев С.А. Усиление железобетонных элементов мостов полимерными композиционными материалами без остановки движения / С.А. Бокарев, К.В. Кобелев, В.А. Слепец // Интернет-журнал «Науковедение», сентябрь – октябрь.- 2014. - вып. 5(24). - <http://naukovedenie.ru>.
13. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures ACI 440.2R-08.
14. Litvinov Artem Applying carbon fiber in building structures. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.the-seus.fi/Litvinov\\_Artem](https://www.the-seus.fi/Litvinov_Artem).
15. Carbon fiber strengthening and jacking of engineering structures. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.kstr.lth.se/kstr>TVBK-5000\\_pdf](https://www.kstr.lth.se/kstr>TVBK-5000_pdf)
16. Григорьева Я.Е. Экспериментальное исследование влияния внешнего армирования изгибаемых элементов железобетонных балок углеволокном на прочность и жесткость конструкций. / Я.Е. Григорьева // Вестник МГСУ. - 2011. - №8. - С.181-184.
17. Кожушко В.П. Расчет пролетных строений автодорожных мостов с применением программы на ПЭВМ / В.П. Кожушко, И.Н. Лысяков // Научный вестник будівництва. - 2016. - Т.84. - №2. - С.223-226.

**Кожушко В.П., Сова Я.І., Воронова Є.М. АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ.** У статті розглядається досвід застосування композиційних матеріалів для посилення залізобетонних балок прогонових будов мостів як вітчизняний, так і зарубіжний. Аналіз літератури з даного питання показав, що застосування даного методу при підсиленні залізобетонних балок в Україні має поодинокі випадки, тоді як в Росії застосування композиційних матеріалів набирає обертів. Хоча нормативна база знаходиться в розробці і повністю не вивчена робота композиційних матеріалів в умовах нашого клімату, технологія виконання робіт запозичується у країн-виробників даного матеріалу. Таким чином, метою даної роботи є виявлення ступеня вивченості питання і актуальності застосування композитних матеріалів для посилення головних балок прогонових будов залізобетонних мостів. Для виконання цього завдання проведено аналіз існуючих методик розрахунку, а також вивчений досвід посилення балок композитними матеріалами при ремонті та реконструкції споруд. Таким чином, питання оптимального місця розташування та кількості армуючого матеріалу залишається відкритим, так як посилюючий матеріал має досить високу вартість надлишок посилення призведе до небажаного подорожчання ремонту, а недостатнє посилення не дасть бажаного результату.

**Ключові слова:** композитний (композиційний матеріал), згинається залізобетонний елемент, методика розрахунку, система посилення, матеріали FRP.

**Kozhushko V.P, Sova Ya.I., Voronova E.M. ACTUALITY OF APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS FOR STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE BALLS OF FLIGHTS OF BRIDGES.** The article considers the experience of using composite materials for reinforcing reinforced concrete beams of span structures of bridges both domestic and foreign. Analysis of the literature on this issue showed that the application of this method with reinforcement of reinforced concrete beams in Ukraine has isolated cases, whereas in Russia the use of composite ma-

materials is gaining momentum. Although the regulatory framework is in development and the work of composite materials in the conditions of our climate has not been fully studied, the technology of performing the work is borrowed from the producing countries of this material. Thus, the purpose of this work is to identify the degree of study of the issue and the relevance of using composite materials to strengthen the main beams of span structures of reinforced concrete bridges. To accomplish this task, an analysis of existing calculation methods has

been carried out, as well as the experience of reinforcing beams with composite materials for the repair and reconstruction of structures. Thus, the question of the optimal location and quantity of reinforcing material remains open, since the reinforcing material has a sufficiently high cost, an overabundance of reinforcement will lead to an undesirable increase in the cost of repair, and insufficient strengthening will not give the desired result.

**Key words:** composite (composite material), bent ferro-concrete element, calculation technique, gain system, FRP materials.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-93-3-143-148  
УДК 656.017

**Малявин А.Н., Шевченко А.А.,**

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта  
(площадь Фейербаха 7, 61050, Харьков, Украина, e-mail: anmalajvin@gmail.com; annshevc@gmail.com)*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ**

Освещены основные этапы оптимизации и прогнозирования продолжительности строительства объектов транспортного назначения. Проанализированы современные данные, характеризующие частое превышение проектных сроков производства работ за счет неэффективной организации технологического обеспечения. Установлено, какие ситуации ведут к увеличению стоимости строительства. Рассмотрено влияние индустриализации строительства, применения поточных методов, комплексной механизации работ на продолжительность строительства. В контексте оптимизации продолжительности строительства рассматривается ряд важных задач, среди которых: выявление тенденций по повышению эффективности логистики, оптимизация последовательности производства работ, в том числе, с учетом климатических условий. Представленные результаты исследований могут быть применены при формировании и совершенствовании электронных цифровых систем прогнозирования продолжительности строительства.

**Ключевые слова:** технологический процесс, оптимизация строительного процесса, предприятия технологического обеспечения, формула Пальма, продолжительность строительства, производительность сборки, транспортировка конструкций.

**Введение.** В современном мире строительства существенную роль при возведении зданий и сооружений, в том числе, и транспортного назначения играет железобетон и сталебетон с максимально возможным выполнением операций рабочего процесса по сборке элементов конструкций непосредственно на строительной площадке. С этой точки зрения представляет собой большой интерес использование технологических комплексов оборудования и

эффективной организации технологического процесса.

Завершение строительства объекта в срок, как и неудорожание строительства – параметры, определяющие успех любого масштаба строительного проекта. В сегодняшних условиях увеличение продолжительности сроков строительства влечет за собой, в ряде случаев, к тому что на объектах еще до ввода их в эксплуатацию техно-

**НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 93, №3, 2018**