

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES



УДК 624.012.04-52

Научная статья

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-1-7-14>

К определению наиболее эффективного способа усиления железобетонных колонн при разных уровнях нагружения

С.В. Георгиев , Д.Р. Маилян , А.И. Соловьёва 

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ sergey.georgiev@bk.ru



EDN: JBTAD

Аннотация

Введение. Выбор метода усиления железобетонных конструкций в основном зависит от стоимости и сроков проведения работ. В каждом конкретном случае решение принимается в зависимости от нагрузки, вида дефектов, особенностей эксплуатации и др. Помимо прямых затрат на обследование, выполнение проекта усиления, материалы, подъемно-транспортные услуги и, непосредственно, стоимости работ по усилению существует ряд дополнительных затрат, связанных с особенностями технологии выполнения работ. Из новых методов усиления можно отдельно выделить внешнее композитное армирование, основанное на использовании углеродных материалов. В отличие от ранее разработанных методов усиления, основанных на использовании железобетона и металла, композитные системы отличаются высокой мобильностью и не требуют дополнительных затрат. Целью настоящего исследования является определение наиболее рационального способа усиления для сжатых конструкций.

Материалы и методы. Авторами было рассмотрено усиление тремя методами сжатых железобетонных конструкций. В работе был сделан численный эксперимент, в котором выполнялось усиление железобетонной колонны при разных коэффициентах усиления от 1,1 до 2,0, то есть от 10 % до 100 % увеличения прочности. Расчеты стоимости усиления колонны выполнялись для трех способов усиления железобетонной, металлической и композитной обшивкой.

После выполнения 30-ти вариантов расчетов была построена таблица, в которой представлены все характеристики и объемы материалов. В заключительной стадии работы для каждого способа исследования был сделан расчет общей стоимости согласно прайсам фирм реализаторов.

Результаты исследования. Анализ железобетонного усиления показал, что при большинстве коэффициентов усиления имеет место минимальное конструктивное армирование. Металлическое усиление при больших уровнях нагрузки экономически нецелесообразно, так как необходимо использовать уголки большого сечения. Композитные системы внешнего армирования при всех коэффициентах повышения нагрузки являются очень материалоемкими. Учитывая высокую стоимость материалов, данный метод, в большинстве случаев, является самым экономически нецелесообразным.

Обсуждение и заключение. На основании полученных результатов выполнен анализ эффективности трех наиболее распространенных способов усиления железобетонных сжатых колонн. Разработаны предложения по рациональному проектированию систем усиления внецентренно сжатых железобетонных стоек, работающих с разными эксцентриситетами приложения нагрузки.

Ключевые слова: бетон, железобетон, сталь, углепластик, композитная арматура, усиление, деформации, напряжение.

Для цитирования: Георгиев С.В., Маилян Д.Р., Соловьёва А.И. К определению наиболее эффективного способа усиления железобетонных колонн при разных уровнях нагружения. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(1):7–14. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-1-7-14>

Determining the Most Efficient Method of Strengthening the Reinforced Concrete Columns under Different Loading Levels

Sergey V. Georgiev  , Dmitry R. Mailyan , Anastasia I. Solovyeva 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

 sergey.georgiev@bk.ru

Abstract

Introduction. The method of strengthening the reinforced concrete structures is chosen depending mainly on the cost and timeframe of the performed work. In each specific case, the decision is made depending on the load, type of defects, operational features, etc. Apart from the direct costs of inspection, strengthening project design, materials, lifting and transport services and the cost of strengthening works proper, there is a number of additional costs related to the technological features of the work performed. Among the new methods of strengthening, the method of external strengthening with the composite carbon materials can be particularly emphasised. Compared to the previously developed methods of strengthening with the reinforced concrete and metal, the composite systems are easily transportable and do not incur additional costs. The aim of this study is to determine the method of strengthening most rational for the compressed structures.

Materials and methods. The authors have examined three methods of strengthening the compressed reinforced concrete structures. In the frame of the research a numerical experiment has been carried out, in which a reinforced concrete column was strengthened at different strengthening coefficients from 1.1 to 2.0, i.e., from 10 to 100% of strength increase. The estimations of the cost of strengthening the column by three methods of strengthening have been carried out: jacketing using the reinforced concrete, metal and composite materials. After carrying out thirty variants of calculation, a table presenting all specifications and quantities of the materials has been drawn up. At the final stage of the research, the total cost of each method under investigation has been estimated based on the prices of the selling companies.

Results. The analysis of strengthening with the reinforced concrete revealed that at most of the strengthening coefficients the achieved structural reinforcement is minimal. Under the high loading levels strengthening with the metal is not economically expedient, as it implies the use of the large-section angles. The composite material systems of external strengthening are very material-consuming at all load increasing coefficients. Taking into account the high cost of materials, this method is basically the least economically expedient.

Discussion and conclusion. Based on the results obtained, the efficiency of three most common methods of strengthening the reinforced concrete compressed columns was analysed. Proposals on the rational design of the strengthening systems for the eccentrically compressed reinforced concrete poles under the different eccentricities of load applied have been developed.

Key words: concrete, reinforced concrete, steel, carbon fiber, composite reinforcement, strengthening, deformation, stress

For citation. Georgiev SV, Mailyan DR, Solovyeva AI. Determining the Most Efficient Method of Strengthening the Reinforced Concrete Columns under Different Loading Levels. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(1):7–14. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-1-7-14>

Введение. Одной из тенденций развития современного общества является увеличение объемов строительства новых зданий и сооружений. Постоянно растущие потребности в инфраструктуре производственной промышленности требуют развития новых технологий возведения зданий с минимальными трудозатратами и временем производства работ. При необходимости реорганизации существующих объектов возникает выбор: снос объекта и строительство нового или реконструкция существующего. Зачастую работы по реконструкции сопровождаются усилением несущих конструкций зданий и сооружений. Особое внимание уделяется усилению железобетонных сжатых элементов, которые воспринимают все дополнительные нагрузки от вышележащих реконструируемых этажей. Существуют проблемы усиления, связанные со сложностью производства работ традиционными способами, основанными на использовании технологий железобетонных [1, 2] и металлических обойм [3, 4]. Следовательно, все разработки по изобретению новых способов усиления сжатых железобетонных колонн являются работами перспективными и актуальными [5–7]. Как известно, прочность железобетонных сжатых элементов на 80 % зависит от прочности бетона [8], который является материалом неоднородным. В условиях монолитного строительства большое количество факторов влияет на качество бетона [9–11], и допущение ошибок или несоблюдение технологии выполнения работ приводит к занижению класса бетона, что,

в свою очередь, приводит к необходимости выполнения усиления. Необходимость усиления железобетонных конструкций возникает не только при строительстве новых зданий, но и при разрушениях, причинами которых являются внешние факторы, такие как воздействие агрессивных сред, попеременное замораживание и оттаивание бетона, воздействие антропогенных факторов и др. [12, 13].

Еще во времена советского союза были разработаны эффективные методы усиления, такие как железобетонные и металлические обоймы. Эти методы являются актуальными и на сегодняшний день. Высокие прочностные свойства бетона на сжатие в совокупности с совместной работой арматуры, воспринимающей на себя все растягивающие напряжения, позволяют решать практически любую задачу по восстановлению или усилению железобетонных конструкций. Одним из важных факторов является обеспечение совместной работы существующей конструкции с системой усиления. Так как используется один и тот же материал (бетон и металл) системы усиления и существующей конструкции, то и линейное температурное расширение, и модуль упругости являются одинаковыми. При таких условиях усиленные конструкции ничуть не уступают новым по надежности и долговечности.

Однако, несмотря на весь перечень преимуществ железобетонных и металлических систем усиления, имеется ряд отрицательных свойств. В зависимости от условий производства работ, удаленности объектов усиления от инфраструктуры, производства работ на высоких этажах зданий и других условий данные методы усиления превращаются в очень дорогое мероприятие, а стоимость ремонтно-восстановительных работ возрастает настолько, что зачастую заказчики отказываются от усиления конструкций в сторону строительства новых.

В последние годы за рубежом большую популярность в области усиления железобетонных изгибаемых [14–16] и сжатых [17–19] конструкций приобрели композитные материалы. Исследования, проводимые в России, только подтверждают высокую эффективность композитных материалов при усилении центрально и внецентренно сжатых железобетонных стоек [20–22]. Их основное преимущество по сравнению с традиционными заключается в высокой мобильности и простоте выполнения работ по усилению [23–25]. При этом уменьшаются сроки производства работ, отсутствует необходимость останавливать производственные процессы в помещениях объекта усиления, сохраняется полезная площадь помещений и не увеличиваются нагрузки от элементов усиления на нижележащие конструкции и др. Однако высокая стоимость композитных материалов усиления по сравнению с железобетоном и металлом оставляет под вопросом конкурентоспособность композитного усиления.

Целью настоящего исследования является сравнение эффективности и стоимости усиления тремя разными методами при коэффициентах усиления колонны от 1,1 до 2,0. Данная работа является продолжением исследования [26], которая посвящена сравнению 3-х методов усиления железобетонной, металлической и композитной обоймы при одном коэффициенте увеличения нагрузки равном 1,5.

Материалы и методы. Для определения реальной стоимости и объемов материалов при усилении сжатых железобетонных колонн было принято решение рассчитать наиболее распространенную конструкцию

при 10 коэффициентах усиления для того, чтобы определить наиболее рациональный и экономически целесообразный способ. В работе [26] также были представлены примеры и методики расчетов трех способов усиления.

Для сравнения трех вариантов усиления железобетонной, металлической и композитной обоймой с точки зрения технико-экономических показателей была рассчитана реальная железобетонная колонна на разные коэффициенты усиления.

Сечение 40×40 см. Длина колонны 3 м. Класс бетона B25 ($R_b = 14,5$ мПа). Класс продольной арматуры A500 ($R_{sc} = 400$ мПа), $a = 3$ см. Стержни продольной арматуры 4Ø28A500 ($a_{(s, tot)} = 24,63$ см²).

Для получения данных по объемам материалов усиления были разработаны расчетные методики в программном комплексе ms excel, результаты расчетов приведены в таблице 1 при 10 коэффициентах. Для каждого усиления были подобраны необходимые по расчету материалы усиления.

Таблица 1

Экономическое сравнение трех способов усиления железобетонной, металлической и композитной облоймой

№	Метод усиления, материалы и стоимость	КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ $K_{ус}$										
		1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
1	Железобетонная Обойма	4Ø20A500 $d = 6 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 6 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 6 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 6 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 6 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 6 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 7 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 8 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 9 \text{ CM}$	4Ø20A500 $d = 9 \text{ CM}$	
1.1	Ø20A500, М. П./КТ	12/30 546P	12/30 546P	12/30 546P	12/30 546P	12/30 546P	12/30 546P	12/30 546P	12/30 546P	12/30 546P	12/30 546P	
1.2	Ø6A240, М. П./КТ	36/8 145,6P	36/8 145,6P	36/8 145,6P	36/8 145,6P	36/8 145,6P	36/8 145,6P	36/8 145,6P	36/8 145,6P	36/8 145,6P	36/8 145,6P	
1.3	Бетон, м³	0,33 1386P	0,33 1386P	0,33 1386P	0,33 1386P	0,33 1386P	0,33 1386P	0,4 1680P	0,46 1932P	0,53 2226P	0,53 2226P	
1.4	Стоимость, руб.	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2372	2623	2920	2920	
2	Металлическая обойма	4,50×4 –80×8	4,75×6 –80×8	4,90×7 –80×8	4,100×7 –80×8	4,125×8 –80×8	4,140×9 –80×8	4,140×10 –80×8	4,160×10 –80×8	4,180×10 –80×8	4,180×11 –80×8	
2.1	Уголок, L, М. П.	12 1524	12 4200	12 5460	12 6528	12 8460	12 8724	12 11292	12 12924	12 16488	12 19644	
2.2	Полоса, – М. П.	11 2838	11 2838	11 2838	11 2838	11 2838	11 2838	11 2838	11 2838	11 2838	11 2838	
2.3	Стоимость, руб.	4362	7038	8298	9366	11298	11562	14130	15762	19326	22482	
3	Композитная обойма	2 слоя $T = 0,11 \text{ MM}$	2 слоя $T = 0,27 \text{ MM}$	3 слоя $T = 0,27 \text{ MM}$	5 слоев $T = 0,27 \text{ MM}$	6 слоев $T = 0,27 \text{ MM}$	5 слоев $T = 0,48 \text{ MM}$	6 слоев $T = 0,48 \text{ MM}$	7 слоев $T = 0,48 \text{ MM}$	8 слоев $T = 0,48 \text{ MM}$	9 слоев $T = 0,48 \text{ MM}$	
3.1	Углеткань, м²	10 31200	10 46500	15 69750	15 69750	30 139500	25 210000	30 252000	35 294000	40 336000	45 378000	
3.2	Клей, кг	11,5 12650	11,5 12650	17,25 18975	28,75 31625	34,6 38060	25 27500	30 33000	35 38500	40 44000	45 49500	
3.3	Стоимость, руб.	43850	59150	88725	101375	177560	237500	285000	332500	380000	427500	

Примечания:

- 1. В строке № 1, 2 и 3 приведены результаты расчетов.
- 2. В строке № 1 при всех коэффициентах усиления принималась одинаковая дополнительная арматура, составляющая примерно 1–1,5 % от площади набетонки. Под величиной d понимается толщина набетонки.
- 3. В строке № 2, в качестве соединительных планок принимались полосы с размерами поперечного сечения 80×8 мм. При всех коэффициентах усиления использовалось по 4 уголка, поперечное сечение которых определялось по расчету.
- 4. В строке № 3 результатом расчета стало количество слоев облоймы и толщина материалов углеткани, t .
- 5. В строках 1.1–1.3, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 приведены результаты расчета объема и стоимости материалов, соответствующих методов усиления в рублях рф. Цены принимались согласно прайс-листам фирм, реализующих строительные материалы.

Результаты исследования. Для метода усиления железобетонной обоймой при коэффициентах от 1,1 до 1,6 принималась минимальная допустимая набетонка и конструктивное нормирование. При более высоких коэффициентах усиления толщина набетонки увеличилась от 6 до 9 см, что связано с высокой эффективностью бетона, работающего на сжатие. Стоимость материалов на усиление одной колонны была в пределах 2 800–2 920 руб.

При усилении металлической обоймой были подобраны разные варианты для каждого коэффициента усиления. Стоит отметить, что перерасход материала не превышал 10 %. Однако с технической точки зрения при коэффициентах усиления 1,8–2,0 используются уголки с шириной планки 160–180 мм. Учитывая, что каждый уголок имеет длину 3 м, его вес превышает 50 кг. Эти факторы стоит учитывать при определении стоимости работ по усилению, а также доставке материалов на объект. Стоимость материалов для усиления одной колонны, согласно ценам, выставленным на сайте фирмы «металлтранс терминал», составляет от 4 362 до 22 482 руб. Это позволяет сделать вывод, что при малых уровнях нагрузки усиление металлом может быть более эффективно по сравнению с усилением железобетонной обоймой. Вместе с тем при высоких коэффициентах усиления целесообразно использовать железобетонную обойму.

Согласно результатам расчета, при применении метода усиления композитной обоймой стоимость материалов для усиления одной колонны варьируется от 43 850 до 427 500 руб. Стоимость материалов принималась согласно данным, полученным из прайс-листа фирмы «гидрозо». Данный метод усиления является существенно дороже аналогов и при больших коэффициентах усиления колонн является нецелесообразным. Согласно результатам расчетов было установлено, что при высоких коэффициентах усиления требуется использовать большое количество материалов углеткани.

Обсуждение и заключение. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- железобетонную обойму следует применять при больших коэффициентах усиления, если позволяет обстановка и условия проведения ремонтных работ на объекте;
- металлическую обойму рекомендуется применять только при малых коэффициентах усиления;
- композитное усиление следует использовать только при отсутствии альтернативного метода. Учитывая высокую стоимость углеткани и сильное занижение реальной эффективности композитного усиления при условии использования нормативного расчетного аппарата, этот метод в ряде случаев является неконкурентоспособным по сравнению с приведенными выше способами усиления.

Список литературы

1. Курбанов З.А., Грушевский К.Е. Усиление сборной железобетонной колоны методом железобетонной обоймы. В: *Труды международной научно-практической конференции «Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования»*. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.); 2018. Р. 169–171.
2. Хаютин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Ремонт и усиление железобетонных конструкций в зданиях из монолитного железобетона. В кн.: *Проектирование и строительство монолитных многоэтажных жилых и общественных зданий, мостов и тоннелей*. 2004. С. 195–197.
3. Данилов С.В., Фомичева Л.М. Усиление железобетонных колонн стальными обоймами. В: *Труды международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии»*. Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет»; 2017. С. 240–241. URL: <http://e.biblio.bru.by/handle/12121212/4836> (дата обращения 30.01.2024).
4. Кучеренко В.И. Проектирование усиления внецентренно-сжатых железобетонных элементов (колонн, опор, стоек). *Аллея науки*. 2021;2(53):141–143. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46112907> (дата обращения 29.01.2024).
5. Жемчуев А.О. Новые технологии применения жидкого стекла при усилении сжатых железобетонных конструкций. *Национальная Ассоциация Ученых*. 2015;2(7):111–112. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-tehnologii-primeneniya-zhidkogo-stekla-pri-usilenii-szhatyh-zhelezobetonnyh-konstruktsiy> (дата обращения 30.01.2024).
6. Георгиев С.В., Маилян Д.Р., Соловьева А.И. Способ усиления железобетонной колонны прямоугольного или квадратного сечения композитными материалами. Патент РФ 2775852 С1. 2022.
7. Георгиев С.В., Маилян Д.Р., Соловьева А.И. Способ усиления железобетонной колонны прямоугольного или квадратного сечения. Патент РФ 2773490 С1. 2022.
8. Семенов Д.А. Эволюция нормативного подхода к расчету железобетонных элементов. *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2017;5:43–50. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-normativnogo-podhoda-k-raschetu-zhelezobetonnyh-elementov> (дата обращения 30.01.2024).
9. Гарибов Р.Б. *Сопротивление железобетонных несущих конструкций при агрессивных воздействиях окружающей среды*. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Саратов: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; 2008.
10. Иванов Ю.В. *Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление, ремонт*. Ассоциация строительных вузов; 2012. 312 с.

11. Долломанюк Р.Ю. Оценка состояния железобетонных конструкций для регрессивной зависимости коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона в условиях открытой атмосферы. В: *Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство»*. Омск: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»; 2020. С. 524–528. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43970085> (дата обращения 30.01.2024).
12. Дорофеев И.А., Федотова М.И. История развития методов расчета железобетонных конструкций. В: *Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 4 частях «Наука и образование в XXI веке: теория, практика, инновации»*. Люберцы: ООО АР-Консалт; 2014. С. 93–95.
13. Корсаков Н.В. Анализ повреждений и видов усиления сжатых железобетонных конструкций. В кн.: *Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета. Тезисы докладов*. Волгоград: ВГТУ; 2021. С. 468–469.
14. Hutchinson A.R., Rahimi H. Flexural Strengthening of Concrete Beams with Externally Bonded FRP Reinforcement. In: *Proceedings of the 2nd Int. Conf. on Advanced Compos. Mat. in Bridges and Struct. (ACMBS)*. Montreal; 1996. P. 519–526.
15. Hussain M., Sharif A., Basunbul I.A., Baluch M.H., AL Sulaimani G.J. Flexural Behavior of Precracked Reinforced Concrete Beams Strengthened Externally by FRP Plates. *ACI Struct J*. 1995;92(1):14–22.
16. Khalifa A., Belarbi A., Nanni A. Shear Performance of RC Members Strengthened with Externally Bonded FRP Wrap. In: *Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand; 2000. Pp. 305–315.
17. Mander JB, Priestly MJN, Park R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*. 1988;114(8):1804–1826.
18. Matthys S. *Structural Behavior and Design of Concrete Members Strengthened with Externally Bonded FRP Reinforcement*. Gent University; 2000. 367 p. URL: https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/000/518/841/RUG01-000518841_2010_0001_AC.pdf (дата обращения 30.01.2024).
19. Pan J.L., Xu T., Hu Z.J. Experimental Investigation of Load Carrying Capacity of the Slender Reinforced Concrete Columns Wrapped with FRP. *Construction and Building Materials*. 2007;21(11):1991–1996. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.05>
20. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при больших эксцентриситетах. *Научное обозрение*. 2014;12(2):496–499. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prochnost-i-deformativnost-korotkih-usilennyh-stoek-pri-malyh-ekstsentrissetah> (дата обращения 30.01.2024).
21. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. О влиянии гибкости стоек на эффективность композитного усиления. *Инженерный вестник Дона*. 2015;4. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374> (дата обращения 30.01.2024).
22. Маяцкая И.А., Польской П.П., Георгиев С.В., Федченко А.Е. Применение углепластиковых ламелей при усилении строительных конструкций. *Строительство и техногенная безопасность*. 2018;12(64):33–38.
23. Георгиев С.В., Меретуков З.А., Соловьёва А.И. Исследование сжатых и изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами по новой методике. *Инженерный вестник Дона*. 2022;2. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7469> (дата обращения 30.01.2024).
24. Георгиев С.В., Соловьёва А.И., Меретуков З.А. Сравнение методик усиления внешним армированием композитных материалов. *Инженерный вестник Дона*. 2021;10. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7221> (дата обращения 30.01.2024).
25. Георгиев С.В., Соловьёва А.И., Меретуков З.А. Сравнение методов усиления железобетонных стоек с точки зрения экономической эффективности. *Инженерный вестник Дона*. 2022;2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7485> (дата обращения 30.01.2024).
26. Георгиев С.В., Меретуков З.А., Соловьёва А.И. К определению прочности бетона, обжатого композитными материалами, расположенными в поперечном направлении. *Инженерный вестник Дона*. 2021;10. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7225> (дата обращения 30.01.2024).

References

1. Kurbanov ZA, Hrushevsky KE. Strengthening of Precast Reinforced Concrete Columns by the Method of Concrete Collars. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Innovative Development: the Potential of Science and Modern Education”*. Penza: Nauka i Prosveshchenie (Sole Entrepreneur Gulyaev GYu); 2018. P. 169–171. (In Russ.).
2. Khayutin YuG, Chernyavsky VL, Axelrod EZ. Repair and Strengthening the Reinforced Concrete Structures in Buildings Made of Monolithic Reinforced Concrete. In book: *Design and Construction of Monolithic Multi-Storey Residential and Public Buildings, Bridges and Tunnels*. 2004. P. 195–197. (In Russ.).
3. Danilov SV, Fomicheva LM. Strengthening the Reinforced Concrete Columns by Steel Collars. In: *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Materials, Equipment and Resource-Saving Technologies”*. Mogilev: Transnational Educational Institution of Higher Education “Belarus-Russian University”; 2017. P. 240–241. URL: <http://e.biblio.bru.by/handle/12121212/4836> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).

4. Kucherenko VI. Design of Strengthening the Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Elements (Columns, Supports, Poles). *Alleya nauki*. 2021;2(53):141–143. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46112907> (accessed 29.01.2024). (In Russ.).
5. Zhemchuev AO. New Technology Application in Water Glass in Strengthening Compression Reinforced Concrete Construction. *National Association of Scientists*. 2015;2(7):111–112. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-tehnologii-primeneniya-zhidkogo-stekla-pri-usilenii-szhatyh-zhelezobetonnyh-konstruktsiy> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).
6. Georgiev SV, Mailyan DR, Solovyeva AI. *A Method of Strengthening a Reinforced Concrete Column of Rectangular or Square Section with Composite Materials*. RF Patent 2775852 C1. 2022. (In Russ.).
7. Georgiev SV, Mailyan DR, Solovyeva AI. *A Method of Strengthening a Reinforced Concrete Column of Rectangular or Square Section*. RF Patent 2773490 C1. 2022. (In Russ.).
8. Semenov DA. Evolution of the Normative Approach to the Calculation of Reinforced Concrete Elements. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2017;5:43–50. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-normativnogo-podhoda-k-raschetu-zhelezobetonnyh-elementov> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).
9. Garibov RB. *Resistance of Reinforced Concrete Load-Bearing Structures under Aggressive Environmental Influences*. Dr.Sci. (Engineering) Dissertation. Saratov: Penza State University of Architecture and Construction; 2008.
10. Ivanov YuV. *Reconstruction of Buildings and Structures: Reinforcement, Restoration, Repair*. Assotsiatsiya stroitel'nykh vuzov; 2012. 312 p. (In Russ.).
11. Dolomanyuk RYu. Condition Assessment of Reinforced Concrete Structures for a Regression Based on the Corrosive Damage of Steel Reinforcement from the Thickness of the Protective Concrete Layer in the Open Atmosphere. In: *Proceedings of the III National Scientific and Practical Conference "Education. Transport. Innovation. Construction"*. Omsk: Siberian State Automobile and Road Engineering University (SibADI); 2020. P. 524–528. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43970085> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).
12. Dorofeev IA, Fedotova MI. The History of the Development of Methods for Calculating Reinforced Concrete Structures. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: in 4 Parts "Science and Education in the XXI Century: Theory, Practice, Innovation"*. Lyubertsy: AR-Konsalt LLC; 2014. P. 93–95. (In Russ.).
13. Korsakov NV. Analysis of Damage and Types of Strengthening the Compressed Reinforced Concrete Structures. In book: *Competition of Scientific Research Papers of Volgograd State Technical University Students. Abstracts of Papers*. Volgograd: VSTU; 2021. P. 468–469. (In Russ.).
14. Hutchinson AR, Rahimi H. Flexural Strengthening of Concrete Beams with Externally Bonded FRP Reinforcement. In: *Proceedings of the 2nd Int. Conf. on Advanced Compos. Mat. in Bridges and Struct. (ACMBS)*. Montreal; 1996. P. 519–526.
15. Hussain M, Sharif A, Basunbul IA, Baluch MH, AL Sulaimani GJ. Flexural Behavior of Precracked Reinforced Concrete Beams Strengthened Externally by FRP Plates. *ACI Struct J*. 1995;92(1):14–22.
16. Khalifa A, Belarbi A, Nanni A. Shear Performance of RC Members Strengthened with Externally Bonded FRP Wrap. In: *Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand; 2000. P. 305–315.
17. Mander JB, Priestly MJN, Park R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *ASCE Journal of Structural Engineering*. 1988;114(8):1804–1826.
18. Matthys S. *Structural Behaviour and Design of Concrete Members Strengthened with Externally Bonded FRP Reinforcement*. Gent University; 2000. 367 p. URL: https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/000/518/841/RUG01-000518841_2010_0001_AC.pdf (accessed: 30.01.2024).
19. Pan JL, Xu T, Hu ZJ. Experimental Investigation of Load Carrying Capacity of the Slender Reinforced Concrete Columns Wrapped with FRP. *Construction and Building Materials*. 2007;21(11):1991–1996. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.05.050>
20. Polskoy PP, Mailyan DR, Georgiev SV. Durability and Deformability of Flexible Reinforced Stands under Large Eccentricities. *Nauchnoe obozrenie*. 2014;12(2):496–499. (In Russ.).
21. Polskoy PP, Mailyan DR, Georgiev SV. The Impact of Flexibility of Columns on the Effectiveness of Composite Strengthening. *Engineering Journal of Don*. 2015;4:81. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).
22. Mayatskaya IA, Polskoy PP, Georgiev SV, Fedchenko AE. Application of Carbon Plastic Lamellas with the Strengthening of Civil Structures. *Construction and Industrial Safety*. 2018;12(64):33–38. (In Russ.).
23. Georgiev SV, Meretukov ZA, Solovyeva AI. Study of Compressed and Flexural Reinforced Concrete Elements Reinforced with Composite Materials Using a New Method. *Engineering Journal of Don*. 2022;2:320–329. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7469> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).
24. Georgiev SV, Solovyeva AI, Meretukov ZA. Comparison of Methods of Reinforcement with External Reinforcement of Composite Materials. *Engineering Journal of Don*. 2021;10. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7221> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).
25. Georgiev SV, Solovyeva AI, Meretukov ZA. Comparison of Methods for Strengthening Reinforced Concrete Pillars in Terms of Economic Efficiency. *Engineering Journal of Don*. 2022;2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7485> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).
26. Georgiev SV, Meretukov ZA, Solovyeva AI. Determination of the Strength of Concrete Compressed with Composite Materials Located in the Transverse Direction. *Engineering Journal of Don*. 2021;10. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7225> (accessed 30.01.2024). (In Russ.).

Об авторах:

Сергей Валерьевич Георгиев, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, [ORCID](#), sergey.georgiev@bk.ru

Дмитрий Рафаэлович Маилян, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, [ORCID](#), dmailyan868@mail.ru

Анастасия Ивановна Соловьёва, ассистент кафедры железобетонных и каменных конструкций Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), магистр, [ORCID](#), 98rosignol@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

С.В. Георгиев — анализ результатов исследований, проведение расчетов, формирование выводов.

Д.Р. Маилян — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, корректировка выводов.

А.И. Соловьёва — выполнение расчетов, подготовка текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 26.02.2024

Поступила после рецензирования 06.03.2024

Принята к публикации 09.03.2024

About the Authors:

Sergey V. Georgiev, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [ORCID](#), sergey.georgiev@bk.ru

Dmitry R. Mailyan, Dr.Sci. (Engineering), Professor of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Professor, [ORCID](#), dmailyan868@mail.ru

Anastasia I. Solovyeva, Assistant of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), [ORCID](#), 98rosignol@mail.ru

Claimed contributorship:

SV Georgiev: analysis of the research results, calculations, formulating the conclusions.

DR Mailyan: formulating the main concept, aim and objectives of the research, scientific supervision, correcting the conclusions.

AI Solovyeva: calculations, text preparation.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Received 26.02.2024

Revised 06.03.2024

Accepted 09.03.2024