

К нормативному расчету по прогибам гибких железобетонных стоек при разных напряженно-деформированных состояниях конструкций

С.В. Георгиев¹, З.А. Меретуков², А. И. Соловьёва¹

¹Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону.

²Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп

Аннотация: В работе представлены результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований, прогибов железобетонных стоек двух гибкостей $\lambda_h=10$ и 20, испытанных при трех эксцентриситетах приложения нагрузки $e_0=0; 2,0\text{см} (0,16h)$ и $4,0\text{см} (0,32h)$. Выполнены теоретические расчеты прогибов согласно действующего свода правил (СП 63.13330.2018). На основании экспериментальных данных и результатов расчета было установлено, что значения теоретических прогибов существенно отличаются от экспериментальных. Был выполнен анализ влияния эксцентриситета приложения нагрузки и гибкости образцов на сходимость теоретических и экспериментальных значений прогибов образцов, рассмотрены возможные причины несовпадения и разработаны предложения по совершенствованию расчетной методики.

Ключевые слова: бетон, железобетон, сжатые элементы, гибкость, эксцентриситет, вторая группа предельных состояний, прогиб.

Использование железобетона в качестве материала несущих конструкций зданий и сооружений, на сегодняшний день, неоспоримо, занимает лидирующее место [1-3]. Основными причинами являются высокие прочностные свойства бетона на сжатие [4] и арматуры на растяжение [5], а также достаточно низкая стоимость материалов. Железобетон хорошо сопротивляется атмосферным и антивандальным воздействиям [6-8], а также защищает арматуру от коррозии [9].

Учитывая опыт строительства [10,11], и постоянно растущие научные исследования в области железобетона [12,13], с периодичностью 5-9 лет обновляются нормативные документы по проектированию железобетонных конструкций. Наблюдается тенденция уменьшения сложности нормативных расчетных методик, в сторону ухудшения точности результатов расчетов, таким образом, что во всех проектируемых конструкциях наблюдается запас прочности [14].

Такое положение дел устраивает строителей, однако в случаях острой необходимости, к примеру, в области обследования и усиления железобетонных конструкций, это может привести к выводам о проведении необоснованных сложных работ по усилению [15-17].

Следовательно, работа над изучением положений, вновь вышедших сводов правил, особенно когда вносятся изменения в расчетные методики, является актуальной.

В связи с этим, кафедра ЖиКК ДГТУ постоянно ведет работы по изучению и проверке нормативных расчетных методик по проектированию железобетонных и каменных конструкций, а также вариантов их усиления. Работы ведутся для научных и практических целей. Кафедра долгие годы работает, как организация по обследованию и усилению конструкций и имеет достаточно большой опыт в данном вопросе. К основным актуальным вопросам относятся исследования новых методов усиления конструкций [18-20], а также в последние 15 лет активно работает над изучением инновационных новых видов композитных материалов [21-23].

Свод правил 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» является основным нормативным документом проектирования железобетонных конструкций. От оснований положений данного нормативного документа, отталкивается вся научная деятельность по изучению эффективности новых строительных материалов. Поэтому точность результатов методик свода правил является актуальной и постоянно проверяется экспериментальными исследованиями [24-26]. В научных работах подобными конструкциями являются эталонные образцы, то есть обычные железобетонные конструкции, от результатов которых, отталкиваются при исследовании новых видов материалов [27-29].

Данная работа является продолжением исследования [30-32], посвященного вопросу определения предельного прогиба сжатых

железобетонных стоек большой гибкости, испытанных при 3-х эксцентриситетах приложения нагрузки $e_0=0; 2,0\text{см} (0,16h)$ и $4,0\text{см} (0,32h)$.

Целью данной работы является определение и анализ результатов расчёта по прогибам гибких железобетонных стоек и сравнение их с экспериментальными значениями прогибов, полученных в ходе выполнения экспериментальных опытов.

Для понимания вопроса исследования, ниже, коротко, будут описаны материалы исследования.

Согласно нормативным методикам расчёта по определению прогибов изгибаемых элементов, к которым относятся гибкие железобетонные внецентренно сжатые образцы, рассмотренные в настоящей статье, была составлена блок-схема расчёта (рис.1) и выполнены вычисления прогибов железобетонных образцов. В качестве экспериментальных данных были взяты значения прогибов из ранее выполненных исследований [33,34].

Результаты экспериментальных и теоретических значений прогибов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов эталонных стоек по прогибам

Шифр образца	Параметры			Трещина	До предложений авторов						После предложений авторов					
					0,8N _{max}			0,95N _{max}			0,8N _{max}			0,95N _{max}		
	λ_h	e_0	$R_{b,n}^{exp}$, МПа		f^{exp} мм	f^{theor} мм	$\frac{f^{theor}}{f^{exp}}$	f^{exp} мм	f^{theor} мм	$\frac{f^{theor}}{f^{exp}}$	f^{exp} мм	f^{theor} мм	$\frac{f^{theor}}{f^{exp}}$	f^{exp} мм	f^{theor} мм	$\frac{f^{theor}}{f^{exp}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
АК	10	0,2	43,5	нет	0,5	0,3	0,60	0,9	0,4	0,44	0,5	0,6	1,20	0,9	0,82	0,91
БК	10	2,2	38,92	нет	4,3	1,7	0,40	5,3	2,0	0,38	4,3	3,2	0,74	5,3	4,0	0,75
АГ	20	0,4	39,16	нет	6,6	3,6	0,55	13,0	6,8	0,52	6,6	7,2	1,09	13,0	13,4	1,03
$\sum \Delta^2$							0,732			0,924			0,114			0,069
ВК	10	4,2	43,5	Да	5,7	4,9	0,86	9,1	8,7	0,96	-	-	-	-	-	-
БГ	20	2,4	39,16	Да	12,2	7,2	0,59	19,0	17,0	0,89	-	-	-	-	-	-
ВГ	20	4,4	43,44	Да	18,1	19,9	1,10	30,0	34,7	1,16	-	-	-	-	-	-
$\sum \Delta^2$							0,198			0,039			-			-

Примечания: 1. Стойка шифра БК рассчитывалась по прогибам с условием отсутствия трещин, т.е. по экспериментальным данным, такой вывод был сделан в работе [29]. 2. Для удобства анализа расчетного аппарата, сумма среднеквадратического отклонения была рассчитана отдельно для стоек, в которых образовались трещины (далее по тексту «с трещинами») и в которых их нет (далее по тексту «без трещин») см. ст. 5.

Для выполнения объективного анализа результатов расчета, сравнение значений прогибов выполнялась при 2 уровнях нагрузки. В качестве первого уровня нагрузки было принято решение - взять эксплуатационную нагрузку, равную 80% от разрушающей.

Так как прогибы образцов измерялись вплоть до разрушения стоек, то в качестве 2 уровня нагрузки были взяты предельные прогибы, которые удалось зафиксировать в процессе эксперимента при силе равной 95% от разрушающей.

Алгоритм расчета по прогибам составлен, согласно СП 63.13330.2018 по упрощённой схеме по предельным состояниям (рис. 1). Этот алгоритм включает в себя алгоритм расчета по образованию трещин [31].

Анализ результатов расчетов стоек по прогибам:

- 1) Для стоек «без трещин» имеет место занижение теоретических прогибов по сравнению с экспериментальными для всех образцов (от 38 до 52%).
- 2) Для стоек «с трещинами» наблюдается тенденция, при которой с увеличением уровня нагрузки улучшается сходимость теоретических и экспериментальных значений прогибов. Сумма среднеквадратического отклонения изменяется от 0,198 до 0,039.

Учитывая результаты сопоставления теоретических и экспериментальных прогибов, предлагается следующие:

- Для стоек «с трещинами» предлагается использовать нормативных расчет, так как разность значений теоретических и экспериментальных прогибов входит в статистический разброс.
-

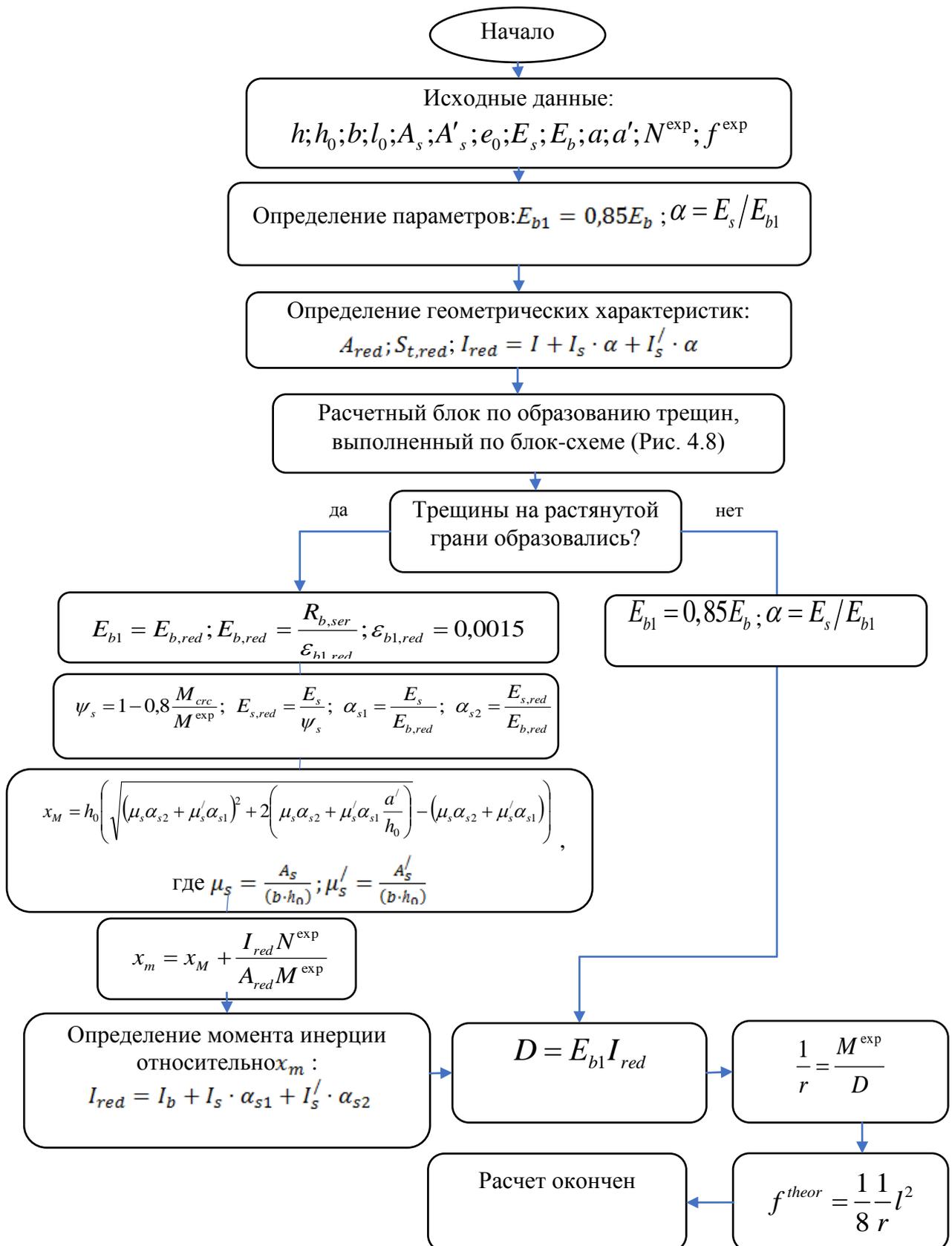


Рис.1. – Блок-схема нормативного расчета усиленных железобетонных стоек

- Для стоек «без трещин» предлагается в нормативную формулу определения модуля упругости $E_{b1} = 0,85E_b$ внести изменения, а именно - заменить коэффициент 0,85 на 0,4 (1):

$$E_{b1} = 0,4 E_b \quad (1)$$

Результаты расчета, с учетом использования формулы (1) приведены в табл. 1 ст. 12-17.

Анализируя результаты полученных новых прогибов, можно сказать, что с учетом предложений по совершенствованию нормативного расчета, получили существенное улучшение сходимости теоретических и экспериментальных прогибов при всех уровнях нагрузки. При уровнях нагрузки $0,8N_{max}$ и $0,95N_{max}$ сумма среднеквадратического отклонения уменьшилась в 6 и 13 раз, соответственно.

Литература

1. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 51-54.
2. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон - взгляд в будущее // Вестник МГСУ. 2014. № 4. С. 181-189.
3. Клочкова З.Ю., Сулова А.Е. Применение железобетона и его преимущества, сравнительно с другими строительными материалами // В сборнике: Комплексное изучение и освоение недр Европейского Севера России. Материалы всероссийской научно-технической конференции. Ухта, 2021. С. 110-112.
4. Аль Каради Али. Основные физико-механические свойства железобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 39-42.
5. Попов, В. М., Сапунова А. А. Исследование напряженно-деформированного состояния фибробетонных изгибаемых элементов

- трапецевидного профиля с комбинированным армированием // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 9. – С. 15-20.
6. Корсаков Н.В. Анализ повреждений и видов усиления сжатых железобетонных конструкций // В книге: Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета. тезисы докладов. Волгоград, 2021. С. 468-469.
7. Микульский В.Г., Игонин Л.А. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях // Стройиздат, 1965. – 128 с.
8. Гарибов Р.Б. Сопротивление железобетонных несущих конструкций при агрессивных воздействиях окружающей среды // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. Саратов, 2008. – 424 С.
9. Долманюк Р.Ю. Оценка состояния железобетонных конструкций для регрессивной зависимости коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона в условиях открытой атмосферы // В сборнике: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции. 2020. – С. 524-528.
10. Залесов А.С. Развитие методов расчета железобетонных конструкций в России // 80-летие НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Сборник научных статей, 2007. С. 5-10.
11. Плевков В.С., Колмогоров А.Г. Расчет железобетонных конструкций по Российским и зарубежным нормам // Томск: Изд-во «Печатная мануфактура». 2009. – 96с.
12. Дорофеев И.А., Федотова М.И. История развития методов расчета железобетонных конструкций // В сборнике: Наука и образование в XXI веке: теория, практика, инновации. Сборник научных трудов по материалам
-



Международной научно-практической конференции: в 4 частях. 2014. С. 93-95.

13. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона // Стройиздат. 1996. 412с.

14. Семенов Д.А. Эволюция нормативного подхода к расчету железобетонных элементов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 5. С. 43-50.

15. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий АО // «ЦНИИПРОМЗДАНИЙ» Москва, 2004. 128 С.

16. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: Усиление, восстановление, ремонт // А.С.В, 2012. 312с.

17. Михайлов В.В. Восстановление железобетонных конструкций с применением расширяющегося цемента // Стройиздат Наркомстроя, 1945, 27с.

18. Chikh N., Gahmous M., Benzaid R. Structural Performance of High Strength Concrete Columns Confined with CFRP Sheets // Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol III. WCE 2012, July 4-6, 2012, London, U.K. Pp. 948-954.

19. Польской П.П., Маилян Д.Р., Шилов А.А., Меретуков З.А. Армирование и схемы испытания наклонных сечений балок с внешним композитным усилением. Новые технологии. 2015. № 4. С. 44-48.

20. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. О влиянии гибкости стоек на эффективность композитного усиления // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374.

21. 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). С. 33-38.



22. Маилян Д.Р., Польской П.П. Георгиев С.В. Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2013, № 2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673.
23. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при больших эксцентриситетах // Научное обозрение, 2014, № 12-2. С. 496-499.
24. Поднебесов П.Г. Результаты исследований прочности и деформативности железобетонных колонн, усиленных обоями // Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья, 2015. С. 42-47.
25. Костенко А.Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно сжатых кирпичных и железобетонных колонн, усиленных угле и стекловолокном // Автореферат. дисс. канд. техн. Наук, Москва, 2010. 26с.
26. Чернявский, В.А., Аксельрод Е.З. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами // Жилищное строительство, 2003, № 3. С. 15-16.
27. Мухамедиев Т.А. Проектирование усиления железобетонных конструкций композиционными материалами // Бетон и железобетон, № 3, 2013. С. 6-8.
28. Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В. Расчет по прочности нормальных сечений железобетонных конструкций, усиленных композиционными материалами // Бетон и железобетон, 2013, № 6. С. 20-24.
29. Меркулов С.И., Есипов С.М. Экспериментальные исследования сцепления внешней композитной неметаллической арматуры с бетоном // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2017. № 1. С. 93-97.
-

30. Polskoy P., Mailyan D., Georgiev S., Muradyan V. The strength of compressed structures with cfrp materials reinforcement when exceeding the cross-section size // E3S Web of Conferences, 2018. С. 02060.
31. Георгиев С.В., Соловьева А. И., Кубасов А.Ю. Анализ нормативного расчета по образованию трещин гибких железобетонных стоек при разных напряженно-деформированных состояниях конструкций // Инженерный вестник Дона. 2021. № 5. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/7010.
32. Маилян, Д. Р., Польской П. П., Георгиев С. В. Методики усиления углепластиком и испытания коротких и гибких стоек. Научное обозрение. 2014. № 10-2. С. 415-418.
33. Polskoy P., Georgiev S., Muradyan V., Shilov A. The deformability of short pillars in various loading options and external composite reinforcement // Web of Conferences 2018. С. 02026.
34. Польской П.П., Маилян Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность коротких усиленных стоек при малых эксцентриситетах. Инженерный вестник Дона. 2014. № 4-1. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2734.

References

1. Tamrazjan A.G. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. № 7. pp. 51-54.
 2. Tamrazjan A.G. Vestnik MGSU. 2014. № 4. pp. 181-189.
 3. Klochkova Z.Ju., Suslova A.E. V sbornike: Kompleksnoe izuchenie i osvoenie neдр Evropejskogo Severa Rossii. Materialy vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Uhta, 2021. pp. 110-112.
 4. Al' Karadi Ali. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2013. № 5. pp. 39-42.
 5. Popov, V. M., Sapunova A. A. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2015. № 9. pp. 15-20.
-



6. Korsakov N.V. V knige: Konkurs nauchno-issledovatel'skih rabot studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. tezisы dokladov. Volgograd, 2021. pp. 468-469.
7. Mikul'skij, V.G., Igonin L.A. Sčeplenie i skleivanie betona v sooruzhenijah. Strojizdat, 1965. 127 P.
8. Garibov R.B. Soprotivlenie zhelezobetonnyh nesushhih konstrukcij pri agressivnyh vozdeystvijah okružhajushhej sredy [Resistance of reinforced concrete load-bearing structures under aggressive environmental influences]. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehničeskikh nauk. Penzenskij gosudarstvennyj universitet arhitektury i stroitel'stva. Saratov, 2008, 424 P.
9. Dolomanjuk R.Ju. V sbornike: Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitel'stvo. Sbornik materialov III Nacional'noj nauchno-praktičeskoj konferencii. 2020. pp. 524-528.
10. Zalesov A.S. 80-letie NIIZhB im. A.A. Gvozdeva, Sbornik nauchnyh statej, 2007. pp. 5-10.
11. Plevkov V.S., Kolmogorov A.G. Raschet zhelezobetonnyh konstrukcij po Rossijskim i zarubežnym normam [Calculation of reinforced concrete structures according to Russian and foreign standards]. Tomsk: Izd-vo «Pечатnaja manufaktura». 2009. 496 P.
12. Dorofeev I.A., Fedotova M.I. V sbornike: Nauka i obrazovanie v XXI veke: teorija, praktika, innovacii. Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii: v 4 častjah. 2014. pp. 93-95.
13. Karpenko N.I. Obshhie modeli mehaniki zhelezobetona [General models of reinforced concrete mechanics]. Strojizdat. 1996. 412 P.
14. Semenov D.A. Stroitel'naja mehanika inženernykh konstrukcij i sooruzhenij. 2017. № 5. pp. 43-50.

15. Posobie po obsledovaniju stroitel'nyh konstrukcij zdaniy AO. «CNIIPROMZDANIJ» [Manual for the inspection of building structures of buildings JSC "TSNIIPROMZDANIY"] Moskva, 2004. 128 P.
 16. Ivanov Ju.V. Rekonstrukcija zdaniy i sooruzhenij: Usilenie, vosstanovlenie, remont [Reconstruction of buildings and structures: Strengthening, restoration, repair]. A.S.V, 2012. 312 P.
 17. Mihajlov V.V. Vosstanovlenie zhelezobetonnyh konstrukcij s primereniem rasshirjajushhegosja cementa [Restoration of reinforced concrete structures with expanding cement]. Strojizdat Narkomstroja, 1945. 27 P.
 18. Chikh N., Gahmous M., Benzaid R. Structural Performance of High Strength Concrete Columns Confined with CFRP Sheets. Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol III. WCE 2012, July 4-6, 2012, London, U.K. Pp. 948-954.
 19. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Shilov A.A., Meretukov Z.A. Novye tehnologii. 2015. № 4. pp. 44-48.
 20. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374.
 21. Majackaja I.A., Pol'skoj P.P., Georgiev S.V., Fedchenko A.E. Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. 2018. № 12 (64). pp. 33-38.
 22. Mailjan D.R., Pol'skoj P.P. Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673.
 23. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie, 2014, № 12-2. pp. 496-499.
 24. Podnebesov P.G. Gradostroitel'stvo, rekonstrukcija i inzhenernoe obespechenie ustojchivogo razvitija gorodov Povolzh'ja, 2015. pp. 42-47.
 25. Kostenko A.N. Prochnost' i deformativnost' central'no i vnecentrenno szhatyh kirpichnyh i zhelezobetonnyh kolonn, usilennyh ugle i steklovoloknom [Strength and deformability of centrally and off-center compressed brick and
-

reinforced concrete columns reinforced with carbon and fiberglass]. Avtoreferat. diss. kand. tehn. Nauk, Moskva, 2010. 26 P.

26. Chernjavskij, V.A., Aksel'rod E.Z. Zhilishhnoe stroitel'stvo, 2003, № 3. pp. 15-16.

27. Muhamediev T.A. Beton i zhelezobeton, № 3, 2013. pp. 6-8.

28. Muhamediev T.A., Kuzevanov D.V. Beton i zhelezobeton, 2013, № 6. pp 20-24.

29. Merkulov S.I., Esipov S.M. Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i reshenija. 2017. № 1. pp. 93-97.

30. Polskoy P., Mailyan D., Georgiev S., Muradyan V. The strength of compressed structures with cfrp materials reinforcement when exceeding the cross-section size. E3S Web of Conferences, 2018. C. 02060.

31. Georgiev S.V., Solov'eva A. I., Kubasov A.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/7010.

32. Mailjan, D. R., Pol'skoj P. P., Georgiev S. V. Nauchnoe obozrenie. 2014. № 10-2. pp. 415-418.

33. Polskoy P., Georgiev S., Muradyan V., Shilov A. The deformability of short pillars in various loading options and external composite reinforcement. Web of Conferences 2018. P. 02026.

34. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. № 4-1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2734.