



УДК 666.97

DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.32-41

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/ RESEARCH ARTICLE

К определению прогибов гибких внецентренно сжатых железобетонных стоек, усиленных в поперечном направлении композитными материалами

Д.Р. Маилян¹, С.В. Георгиев^{1*}¹ Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

*sergey.georgiev@bk.ru

Ключевые слова: бетон, железобетон, углепластик, композитный материал, внешнее армирование, прогибы, сжатые элементы

История статьи

Поступила в редакцию: 31.01.2023

Доработана: 18.02.2023

Принята к публикации: 22.02.2023

Для цитирования

Маилян Д.Р., Георгиев С.В. К определению прогибов гибких внецентренно сжатых железобетонных стоек, усиленных в поперечном направлении композитными материалами // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 2. № 2. С. 32–41.

Аннотация. Анализ расчетных методик, приведенных в нормативной литературе по усилению железобетонных конструкций композитными материалами, расположенными в поперечном направлении, методом оборачивания конструкций, показал, что отсутствует методика расчёта по второй группе предельных состояний. Свод правил 164.1325800.2014 не рассматривает варианты усиления гибких сжатых железобетонных конструкций с расположением композитных материалов в поперечном направлении, вводя ограничения к габаритам конструкций. Однако проведенные нами исследования говорят об обратном. В данной работе приведены опытные значения прогибов железобетонных усиленных стоек в поперечном направлении композитными материалами, характеристики и методика испытания опытных образцов. Представлены результаты теоретического расчета по прогибам и, на основе сопоставления экспериментальных и теоретических значений прогибов, был разработан алгоритм расчета по второй группе предельных состояний.

To the Definition the Deflections of Flexible Non-centrally Compressed Reinforced Concrete Struts Strengthened in the Transverse Direction with Composite Materials

D.R. Mailyan¹, S.V. Georgiev^{1*}¹ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

*sergey.georgiev@bk.ru

Keywords: concrete, reinforced concrete, carbon fiber, composite material, external reinforcement, deflections, compressed elements

Abstract. An analysis of the calculation methods found in the normative literature on strengthening reinforced concrete structures with composite materials arranged in the transverse direction by the method of wrapping structures showed that there is no calculation method for the second group of limit states.

Дмитрий Рафаэлович Маилян, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Донской государственный технический университет, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1; eLIBRARY SPIN-код: 7731-3691, Scopus: 6505969367, ORCID: 0000-0001-6143-0723, E-mail: dmailyan868@mail.ru
Сергей Валерьевич Георгиев, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, Донской государственный технический университет, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1; eLIBRARY SPIN-код: 8049-6052, Scopus: 57189056917, E-mail: sergey.georgiev@bk.ru

© Маилян Д.Р., Сергеев С.В., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Article history

Received: 31.01.2023

Revised: 18.02.2023

Accepted: 22.02.2023

For citation

Mailyan D.R., Georgiev S.V. To the definition the deflections of flexible non-centrally compressed reinforced concrete struts strengthened in the transverse direction with composite materials. *Reinforced concrete structures*. 2023;2(2):32–41.

The Code of Rules 164.1325800.2014 does not consider options for strengthening flexible compressed reinforced concrete structures, with the arrangement of composite materials in the transverse direction, introducing restrictions to the dimensions of structures. However, our research suggests the opposite. In this paper, experimental values of deflections of reinforced concrete struts in the transverse direction by composite materials, characteristics and testing methods of prototypes are given. The results of the theoretical calculation of deflections are presented and, based on the comparison of experimental and theoretical values of deflections, an algorithm for calculating the second group of limit states was developed.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность использования композитных материалов в области усиления железобетонных конструкций, в последние годы все больше подтверждается научными исследованиями [1,2]. Высокие прочностные свойства и близкий к металлу модуль упругости композитных материалов на основе углепластика [3-5], а также простота методики выполнения работ по усилению [6], делают этот метод таким же эффективным, как и традиционные варианты усиления с применением бетона и металла, а в ряде случаев, применение композитов является более эффективным или даже единственным способом [7,8].

В области усиления сжатых элементов есть целый ряд конструкций, в которых применение композитных материалов было бы наиболее экономичным и эффективным [9,10]. К таким конструкциям можно отнести железобетонные колонны мостов, эстакад, путепроводов, промышленных зданий, где использование композитных материалов имеет преимущества [11-13], такие как повышенное сопротивление к агрессивному воздействию окружающей среды, простая технология выполнения работ по усилению, с минимальным набором инструментов, что является особенно актуальным для удаленных от городов объектов, существенный прирост прочности усиливаемых конструкций и др.

Расположение композитных материалов в поперечном направлении увеличивает прочность бетона на сжатие и наряду с высокопрочными бетонами [14,15], увеличивают рациональность использования железобетонных сжатых несущих конструкций в строительстве.

На сегодняшний день, Свод правил 164.1325800.2014 является основным нормативным документом по проектированию усиления железобетонных конструкций композитными материалами. Несмотря на то, что нормативный документ охватывает усиление большинства железобетонных конструкций, точность расчетных методик во многих случаях остается невысокой.

Данная работа посвящена усовершенствованию расчетных методик определения прогибов внецентренно сжатых железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами в поперечном направлении.

Как известно, расчёт всех вновь проектируемых и усиливаемых конструкций выполняется по двум группам предельных состояний, а именно по прочности и деформативности. Для внецентренно сжатых конструкций большой гибкости эффективность усиления зависит от результатов расчета по второй группе предельных состояний. Учитывая несовершенство расчетного аппарата Свода правил СП 164.1325800.2014 по усилению сжатых железобетонных элементов, реальная эффективность композитных материалов может быть занижена.

Dmitry R. Mailyan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Don State Technical University, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1; eLIBRARY SPIN: 7731-3691, Scopus: 6505969367, ORCID: 0000-0001-6143-0723, E-mail: dmailyan868@mail.ru

Sergey V. Georgiev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Don State Technical University, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1; eLIBRARY SPIN: 8049-6052, Scopus: 57189056917, E-mail: sergey.georgiev@bk.ru

Целью данного исследования является определение точности расчётной методики по прогибам свода правил 164.1325800.2014 для усиленных внецентренно сжатых железобетонных стоек большой гибкости при разных эксцентриситетах приложения нагрузки, оценки ее влияния на увеличение несущей способности усиленных образцов и разработка предложений к совершенствованию методики расчета.

Для достижения поставленных целей были выполнены следующие задачи:

1. Составлен алгоритм нормативного расчета по прогибам согласно СП164.1325800.2014 и вычислены прогибы всех опытных образцов.
2. Произведено сравнение теоретических значений прогибов с опытными, полученными в процессе эксперимента.
3. Установлена зависимость значений прогибов с такими варьируемыми факторами, как эксцентриситет приложения нагрузки e_0 , шаг композитных хомутов S_w и гибкость конструкций λ_h .
4. Разработаны предложения по совершенствованию расчёта по второй группе предельных состояний для внецентренно сжатых железобетонных стоек, усиленных композитными материалами в поперечном направлении.

Внесены изменения в алгоритм расчета по прогибам, получены результаты и произведено сравнение с экспериментальными значениями.

МЕТОД

Для решения поставленных задач были изготовлены, усилены и испытаны 15 железобетонных стоек. В процессе испытания замерялись прогибы образцов. В сравнительный анализ брались значения прогибов при 3-х уровнях нагрузки 80, 90 и 95% от разрушающей. Это включает эксплуатационный и предразрушающий и разрушающий уровень нагружения конструкций. Экспериментальные значения прогибов приведены в (ст. 7,10,13 Табл. 1).

В ранее выполненных исследованиях [16,17] приведены результаты сравнения прогибов усиленных образцов с аналогичными не усиленными (эталонными), описано влияние шага композитных хомутов, гибкости и эксцентриситета приложения нагрузки на увеличение жесткости образцов.

В свою очередь, все опытные образцы были рассчитаны согласно свода правил 164.1325800.2014 по усилению железобетонных конструкций композитными материалами по второй группе предельных состояний. В результате расчетов были получены теоретические значения прогибов (ст. 8,11,14 Табл. 1), которые в дальнейшем и сравнивались с экспериментальными.

Характеристика материалов, конструкция каркасов стоек, методика усиления и испытания подробно описаны в работах [18-20]. Ниже для понимания вопроса исследования коротко приведены основные характеристики опытных образцов.

Сечение стоек было 250x125(h) мм, а длина 1200 и 2400 мм, изготовленных из тяжелого бетона с проектным классом по прочности В30-35. Продольное армирование всех стоек было одинаковым и состояло из 4Ø12A500. Вязанные поперечные хомуты были изготовлены из проволоочной арматуры Ø6B500 и установлены с шагом 180 мм.

Все опытные образцы в зависимости от эксцентриситета приложения нагрузки (e_0) были разбиты на три серии. Стойки серии «А» испытывались с осевым эксцентриситетом приложения нагрузки $e_0=0$, в серии «Б» нагрузка прикладывалась с эксцентриситетом $e_0=2,0$ см (0,16h), а в серии «В» – при $e_0=4,0$ см (0,32h).

Поперечное усиление отличалось величиной шага композитных хомутов, варьируемого от 180 мм до нуля, т.е. полной обоймы. Количество слоев углеткани для всех образцов было

равно трем. Подробное описание всех схем и вариантов усиления приведено в примечании Табл.1.

При испытании стоек нагрузка подавалась этапами, равными 10% от разрушающей, каждый этап выдерживался 10 минут.

На всех образцах были установлены по четыре прогибомера. Два располагались в центре стоек, что позволило исключить возможный поворот образцов вокруг оси в процессе испытания. Два других устанавливались на приопорных участках, что позволило исключить смещение концов стоек и замерить чистый прогибы конструкций.

В качестве основного показателя эффективности разработанных предложений к совершенствованию методики расчёта использовались сумма среднеквадратических отклонений, которая определялась по формуле

$$\sum \Delta^2 = \sum_{i=1}^n \left(1 - N_i^{theor} / N_i^{exp} \right)^2.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ положений СП 164.1325800.2014 показал, что методика расчета по II-ой группе предельных состояний для конструкций, усиленных композитными материалами, приведена, но при этом не уточняется, к какому именно виду усиления поперечному или продольному она относится. Путем анализа расчетных формул установлено, что методика расчета относится к конструкциям, усиленным только в продольном направлении, что логично, так как свод правил устанавливает ограничения для образцов при проектировании усиления в поперечном направлении. Ограничения относятся к образцам большой гибкости или работающие при большом эксцентриситете приложения нагрузки, то есть по балочной схеме. Однако, экспериментально [21, 22] была доказана достаточно высокая эффективность усиления образцов, выходящих за рамки ограничений, рекомендуемых сводом правил. Следовательно, перед нами встала задача создания алгоритма расчёта гибких внецентренно сжатых железобетонных конструкций по второй группе предельных состояний, усиленных композитными материалами в поперечном направлении.

Опытные образцы рассчитывались по алгоритму расчета первой методики, построенной согласно СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», то есть без учёта влияния композитного усиления.

Результаты расчёта прогибов приведены в Таблице1.

В ст. 2 первая буква шифра, заглавная буква русского алфавита, обозначает при каком осевом эксцентриситете (e_0) приложения нагрузки, испытывалась конструкция. Литер «А» - стойки, испытанные при случайном эксцентриситете приложения нагрузки, «Б» - образцы, испытанные при приложении нагрузки 2 см относительно оси ($e_0=2$ см), В - тоже при $e_0=4$ см.

Вторые буквы шифра, также заглавные буква русского алфавита, обозначают гибкость конструкции. «К» - короткие стойки гибкостью ($\lambda_h=10$), «Г» - гибкие стойки ($\lambda_h=20$). Третья буква шифра - заглавная буква русского алфавита «У» обозначает, что стойки усилены композитными материалами.

Четвёртая буква шифра - заглавная буква русского алфавита «Х», обозначает наличие поперечного композитного усиления, т.е. наличие хомутов. Все поперечное усиление выполняется в три слоя углеткани.

Нижний индекс буквы Х обозначает вариант поперечного усиления: (1) – хомуты шириной $W_f=50$ мм, расположенные с шагом в осях – $S_f = 190$ мм; (2) – тоже с шагом 140 мм; (3) – означает, что в середине высоты стойки установлен хомут шириной 250 мм, а вверх и вниз установлены хомуты по типу (1); (5) – хомут-обойма в виде полного трёхслойного обертыва-

ния по всей длине стойки; (6) – хомут по типу (1) расположенный с шагом в осях, равным 115 мм (зазор 65 мм).

Таблица 1

Результаты расчетов по прогибам согласно нормативной методике и с учетом предложений авторов

Table 1

The results of calculations on deflections according to the normative methodology and taking into account the suggestions of the authors

№	Шифр образца Specimen name	Параметры Parameters				$0,8N_{max}$			$0,9N_{max}$			$0,95N_{max}$		
		λ_h	e_0	$R_{b,n}^{exp}, MPa$	Трещина Crack	$f^{exp}, мм$	$f^{theor}, мм$	f^{theor}/f^{exp}	$f^{exp}, мм$	$f^{theor}, мм$	f^{theor}/f^{exp}	$f^{exp}, мм$	$f^{theor}, мм$	f^{theor}/f^{exp}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Результаты нормативного расчета Results in accordance with building code														
2	АКУ-Х ₁	10	0,1	282,3	нет	0,2	0,6	3,00	0,3	0,65	2,17	0,4	0,35	0,88
3	АКУ-Х ₆	10	0,1	363,7	нет	0,3	0,65	2,17	0,6	0,94	1,57	0,8	1,14	1,43
4	АКУ-Х ₅	10	0,1	283,0	нет	0,1	0,8	8,00	0,2	0,86	4,30	0,3	0,9	3,00
5	БКУ-Х ₁	10	2,2	282,3	нет	5,0	4,5	0,90	6,3	5,2	0,83	7,2	5,7	0,79
6	БКУ-Х ₂	10	2,2	284,5	нет	4,6	4,5	0,98	5,7	5,3	0,93	6,5	5,7	0,88
7	БКУ-Х ₅	10	2,2	302,9	нет	5,0	4,8	0,96	6,0	5,6	0,93	7,6	6,2	0,82
8	АГУ-Х ₁	20	0,4	280,9	нет	2,0	4,4	2,20	3,0	6,0	2,00	7,0	9,7	1,39
9	АГУ-Х ₃	20	0,4	259,3	нет	4,3	6,5	1,51	7,0	9,7	1,39	9,0	12,1	1,34
10	АГУ-Х ₅	20	0,4	258,9	нет	1,2	4,7	3,92	2,4	6,9	2,88	5,0	10,1	2,02
11	$\sum \Delta^2$							11,13			2,54			1,55
12	ВКУ-Х ₁	10	4,2	295,9	есть	5,7	5,9	1,04	8,0	7,55	0,94	9,4	8,7	0,93
13	БГУ-Х ₁	20	2,2	280,9	есть	12,2	6,9	0,57	15,0	11,0	0,73	17,5	14,6	0,83
14	БГУ-Х ₃	20	2,2	285,4	есть	10,0	6,4	0,64	13,0	10,7	0,82	18,0	17,8	0,99
15	БГУ-Х ₅	20	2,2	331,7	есть	9,2	14,2	1,54	13,0	24,7	1,90	15,0	31,2	2,08
16	ВГУ-Х ₃	20	4,4	315,6	есть	15,3	20,2	1,32	22,5	30,0	1,33	29,0	39,3	1,36
17	ВГУ-Х ₅	20	4,4	283,0	есть	20,1	23,9	1,19	30,0	36,6	1,22	35,0	43,7	1,25
18	$\sum \Delta^2$							0,753			1,075			1,39
Результаты расчета с учетом предложенной [23] Results in accordance with [23]														
19	АКУ-Х ₁	10	0,1	282,3	нет	0,2	0,3	1,50	0,3	0,3	1,00	0,4	0,35	0,88
20	АКУ-Х ₆	10	0,1	363,7	нет	0,3	0,3	1,00	0,6	0,5	0,83	0,8	0,58	0,73
21	АКУ-Х ₅	10	0,1	283,0	нет	0,1	0,4	4,00	0,2	0,43	2,15	0,3	0,46	1,53
22	БКУ-Х ₁	10	2,2	282,3	нет	5,0	2,3	0,46	6,3	2,7	0,43	7,2	2,9	0,40
23	БКУ-Х ₃	10	2,2	284,5	нет	4,6	2,3	0,50	5,7	2,7	0,47	6,5	2,9	0,45
24	БКУ-Х ₅	10	2,2	302,9	нет	5,0	2,4	0,48	6,0	2,8	0,47	7,6	3,2	0,42
25	АГУ-Х ₁	20	0,4	280,9	нет	2,0	2,2	1,10	3,0	3,0	1,03	7,0	5,0	0,71
26	АГУ-Х ₃	20	0,4	259,3	нет	4,3	3,3	0,77	7,0	4,9	0,70	9,0	6,2	0,69
27	АГУ-Х ₅	20	0,4	258,9	нет	1,2	2,4	2,00	2,4	3,5	1,46	5,0	5,1	1,02
28	$\sum \Delta^2$							64,58			17,28			5,60
Результаты расчета с учетом предложенной авторов Results in accordance with author's method														
29	АКУ-Х ₁	10	0,1	282,3	нет	0,2	0,4	2,00	0,3	0,4	1,33	0,4	0,47	1,18
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

30	АКУ-Х ₆	10	0,1	363,7	нет	0,3	0,4	1,33	0,6	0,5	0,83	0,8	0,6	0,75
31	АКУ-Х ₅	10	0,1	283,0	нет	0,1	0,3	3,00	0,2	0,3	1,50	0,3	0,33	1,10
32	БКУ-Х ₁	10	2,2	282,3	нет	5,0	4,5	0,90	6,3	5,2	0,83	7,2	5,7	0,79
33	БКУ-Х ₂	10	2,2	284,5	нет	4,6	4,5	0,98	5,7	5,3	0,93	6,5	5,7	0,88
34	БКУ-Х ₅	10	2,2	302,9	нет	5,0	4,8	0,96	6,0	5,6	0,93	7,6	6,2	0,82
35	АГУ-Х ₁	20	0,4	280,9	нет	2,0	3,3	1,65	3,0	4,5	1,50	7,0	7,2	1,03
36	АГУ-Х ₃	20	0,4	259,3	нет	4,3	4,8	1,12	7,0	7,2	1,03	9,0	9,0	1,00
37	АГУ-Х ₅	20	0,4	258,9	нет	1,2	2,3	1,92	2,4	3,3	1,38	5,0	4,9	0,98
38	$\sum \Delta^2$							6,40			0,82			0,20
39	ВКУ-Х ₁	10	4,2	295,9	есть	5,7	5,9	1,04	8,0	7,55	0,94	9,4	8,7	0,93
40	БГУ-Х ₁	20	2,2	280,9	есть	12,2	6,9	0,57	15,0	11,0	0,73	17,5	14,6	0,83
41	БГУ-Х ₃	20	2,2	285,4	есть	10,0	6,4	0,64	13,0	10,7	0,82	18,0	17,8	0,99
42	БГУ-Х ₅	20	2,2	331,7	есть	9,2	8,1	0,88	13,0	15,7	1,21	15,0	20,9	1,39
43	ВГУ-Х ₃	20	4,4	315,6	есть	15,3	11,9	0,78	22,5	18,7	0,83	29,0	25,6	0,88
44	ВГУ-Х ₅	20	4,4	283,0	есть	20,1	16,1	0,80	30,0	26,5	0,88	35,0	32,7	0,93
45	$\sum \Delta^2$							0,423			0,191			0,206

В Табл.1 для удобства анализа все стойки разделены на две группы. Первая группа – это условно центрально сжатые стойки или работающие с малым эксцентриситетом приложения нагрузки. Эту группу стоек объединяет один алгоритм расчёта по прогибам, без трещин в растянутой зоне.

Для второй группы стоек в процессе вычислений прогибов ход решения меняется с учётом появления трещины в сечении.

Сумма среднеквадратических отклонений изменяется от 11,13 до 2,54 и 1,55 при уровнях нагрузки 0,8 ; 0,9 и 0,95 N_{ult} соответственно.

Наибольший интерес представляют образцы, работающие со случайным эксцентриситетом приложения нагрузки. Их теоретические значения прогибов превышают предельно допустимые, следовательно, эффективность композитного усиления будет ограничиваться требованиями по второй группе предельных состояний.

Для второй группы стоек наблюдается обратная зависимость. Сумма среднеквадратических отклонений изменяются от 0,753 до 1,075 и 1,39 для уровней нагрузки 0,8; 0,9 и 0,95 N_{ult} соответственно. Отдельно можно выделить образцы, усиленные обоймой или полубоймой. Их теоретические прогибы при всех уровнях нагрузки существенно завышены по сравнению с экспериментальными от 20 до 200%.

Для стоек шифра ВКУ-Х₁; БГУ-Х₁; БГУ-Х₃ значения теоретических прогибов f^{theor} при уровне нагрузки 0,95 N_{ult} практически равны экспериментальным. В этих стойках поперечное усиление не влияет на изменение прогибов.

Для стоек БГУ-Х₅; ВГУ-Х₃; ВГУ-Х₅, как показали результаты расчетов, значения теоретических прогибов больше экспериментальных, что говорит о влиянии поперечного усиления на жесткость конструкций.

Проведенный анализ позволил заключить следующее: практически все значения теоретических прогибов f^{theor} больше экспериментальных f^{exp} , что подтверждает влияние поперечного усиления на увеличение жесткости образцов. Для полной ясности картины, расчеты по прогибам производились при 3-х уровнях нагрузки, однако предложения к совершенствова-

нию расчетной методики разрабатывались при учете экспериментальных значений прогибов f^{exp} при уровне нагрузки $N=0,95N_{ult}$.

В ранее выполненном исследовании [23] по улучшению расчётной методики не усиленных гибких железобетонных стоек были разработаны предложения, подтверждающиеся экспериментальными исследованиями. Суть разработанных предложений заключается в изменении расчётного определения модуля упругости бетона E_{b1} для образцов, в которых в ходе расчёта не обнаруживается появление трещины. Нормативная формула определения модуля упругости бетона – $E_{b1} = 0,85E_b$, предложенная нами в работе [23] – $E_{b1} = 0,4E_b$. Есть смысл внести это предложение по расчёту модуля упругости бетона $E_{b1} = 0,4E_b$ для усиленных стоек, в которых "нет трещин".

Результаты расчёта приведены в Табл. 1, строках 19-28.

Дальнейшие поиски решений по улучшению точности расчётного аппарата привели к тому же модулю упругости бетона E_{b1} . Предлагается для стоек «без трещин» при расчёте по прогибам модуль упругости бетона определять формуле $E_{b1} = k_{f5} \cdot 0,4E_b$, где k_{f5} – предлагаемый поправочный коэффициент поперечного усиления.

Для каждой стойки было найдено значение коэффициента k_{f5} , при котором значения теоретических прогибов максимально совпадали с экспериментальными.

Анализ экспериментальных коэффициентов показал, что для условно центрально сжатых (серии АК и АГ) стоек наблюдается линейная зависимость по отношению к гибкости колонн λ_h и к величине шага хомутов, который в нормах выражается через коэффициент k_e .

Используя коэффициент k_e и гибкость λ_h как переменные, были выведены две формулы определения коэффициента k_{f5} . Формула (1) дает практически идеальное совпадение с экспериментальными коэффициентами. Более удобная (упрощённая) формула (2), но менее точная, была выведена для инженерных целей.

$$k_{f5} = (7,9 - 0,32\lambda_h) \cdot k_e + 0,227\lambda_h - 3,84 \quad (1)$$

$$k_{f5} = (8 - 0,3\lambda_h) \cdot k_e + 0,2\lambda_h - 3,6 \quad (2)$$

Для стоек «с трещинами» $E_{b1} = E_{b,red}$, где $E_{b,red} = R_{b,ser} / \varepsilon_{b1,red}$; $\varepsilon_{b1,red} = 0,0015$. Предлагается внести коррективы в определение относительной деформации бетона $\varepsilon_{b1,red}$.

Выполнив аналитические расчеты, было найдено экспериментальное значение относительной деформации бетона $\varepsilon_{b1,red} = 0,0025$, при котором существенно улучшается сходимость теоретических и экспериментальных прогибов для всех стоек. Результаты расчетов прогибов с учётом нового значения $\varepsilon_{b1,red}$ приведены в Табл. 1 строках 39-44.

Окончательная блок-схема расчета по прогибам стоек, усиленных в поперечном направлении композитными материалами, с учетом предложений авторов, представлена на рис. 1. Для стоек БКУ-Х1; БКУ-Х2 и БКУ-Х5 значения коэффициентов усиления k_{f5} получились меньше единицы, что противоречит логике, поэтому при расчете коэффициент ограничивается условием $k_{f5} \geq 1$.

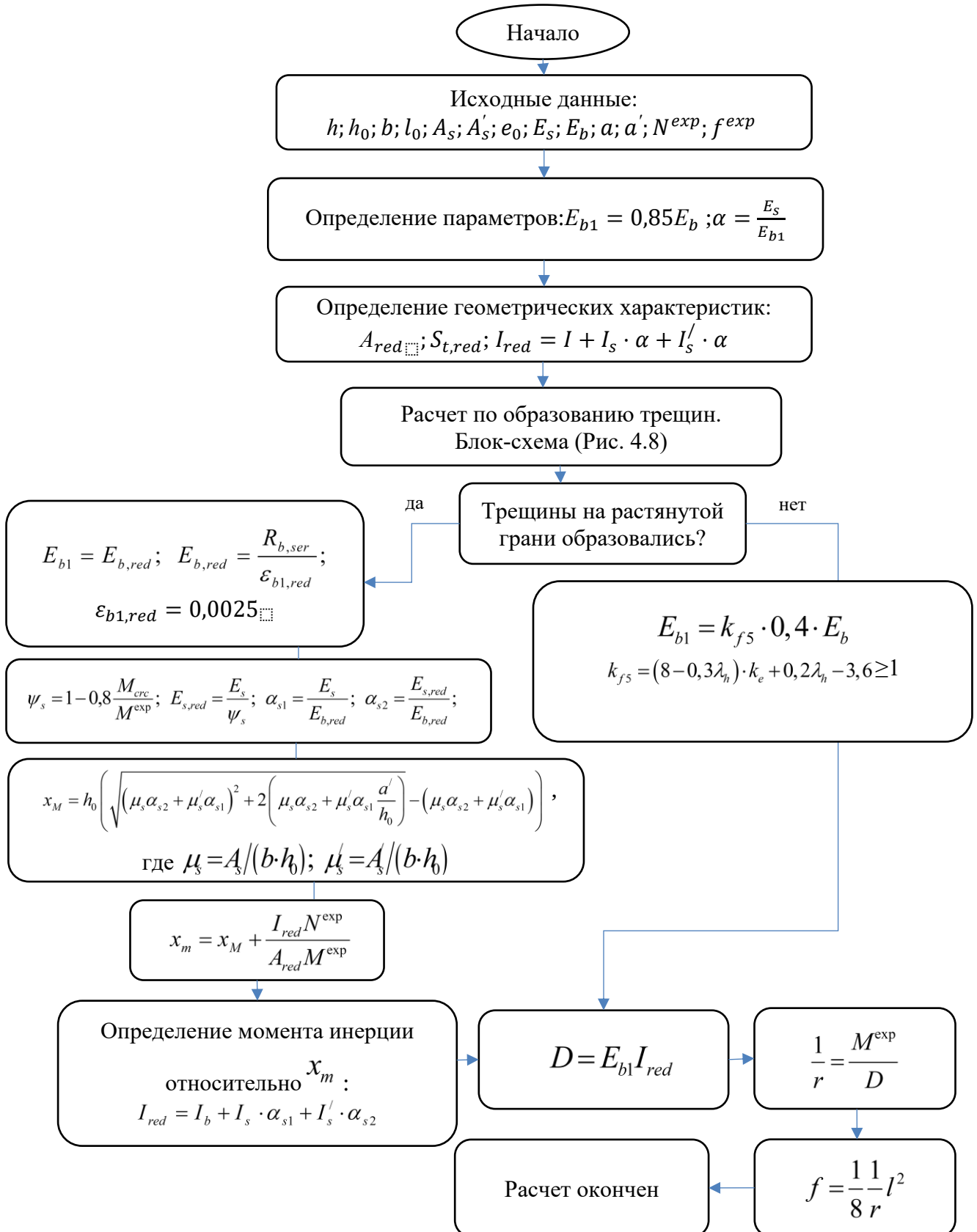


Рис. 1. Блок-схема расчета по прогибам по упрощённой схеме по предельным состояниям для стоек, усиленных в поперечном направлении

Figure 1. Flowchart for calculation of deflections according to a simplified scheme for limit states for racks reinforced in the transverse direction

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан новый алгоритм расчёта по прогибам для стоек, усиленных в поперечном направлении. Предложена коррекция к расчету модуля упругости бетона E_{b1} , путем введения коэффициента k_{f5} (1), для стоек «без трещин» и откорректировано значение относительной деформации бетона $\varepsilon_{b1,red}$ равное 0,0025 для стоек «с трещинами». Результаты расчета показали погрешность в среднем, не превышающую 15%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухамедиев Т.А. Проектирование усиления железобетонных конструкций композиционными материалами // Бетон и железобетон. № 3 2013. С. 6-8.
2. Чернявский, В.А., Аксельрод Е.З. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами // Жилищное строительство. 2003. № 3. С. 15-16.
3. Устинов Б.В., Устинов В.П. Исследование физико-механических характеристик композитных материалов (КПМ) // Известия вузов. Строительство. 2009. № 11-12. С.118-125.
4. Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers. CSA S806-12. Mississauga, Ontario, Canada: Canadian Standards Association (CSA); 2012.
5. Мailyan Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2013, № 2 (25).
6. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. М: Стройиздат. 2004. 144с.
7. Хаятин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций // Бетон и железобетон. 2001. №6 С. 17-20.
8. Пинаджян В.В. К вопросу усиления железобетонных конструкций // Строительная промышленность. - 1948. - № 3 - С. 14-17.
9. Теряник В.В., Бирюков А.Ю. Результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности сжатых усиленных элементов реконструируемых зданий // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2009. №35 (168).
10. Benzaid R., Mesbah H.A., Amel B. Experimental investigation of concrete externally confined by CFRP composites // 5th International Conference on Integrity-Reliability-Failure (IRF). Inegiinst engenharia mecanica e gestao industrial, 2016. pp. 595-602.
11. 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.
12. 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.
13. Онуфриев, Н.М. Усиление железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений. – Москва: Стройиздат - 1965. 342с.
14. Аксенов В.Н., Аксенов Н.Б., Блягоз А.М., Хурыз А.М. Исследование работы сжатых железобетонных элементов из высокопрочного бетона. Новые технологии. 2012. № 4. С. 32-35.
15. Аксенов В.Н., Мailyan Д.Р., Блягоз А.М., Хурыз А.М. Особенности расчета железобетонных колонн из высокопрочного бетона по нормативным методам. Новые технологии. 2012. № 4. С. 36-43.
16. Польской П.П., Георгиев С.В. Влияние различных вариантов внешнего композитного армирования на жесткость гибких сжатых элементов // Инженерный вестник Дона, 2017, № 4 (47).
17. Польской П.П., Мailyan Д.Р., Георгиев С.В. Прочность и деформативность гибких усиленных стоек при больших эксцентриситетах // Научное обозрение. 2014. № 12-2. С. 496-499.
18. Мailyan Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2013, № 2 (25). URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673
19. Мailyan Д.Р., Польской П.П., Георгиев С.В. Конструкция каркасов и схемы испытания опытных стоек, усиленных углепластиком // Научное обозрение, 2014, №10-3. С. 667-670
20. Мailyan 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.
21. 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.

22. 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
23. Георгиев С. В. Гибкие внецентренно сжатые железобетонные стойки, усиленные композитными материалами // Канд. дисс. техн. наук, Ростов-на -Дону, 2020. 201с.
URL: dissercat.com/content/gibkie-vnetsentrenno-szhatye-zhelezobetonnye-stoiki-usilennyye-kompozitnymi-materialami

REFERENCES

1. Mukhamediev T.A. Design of reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. *Concrete and reinforced concrete*. No. 3 2013. Pp. 6-8.
2. Chernyavsky, V.A., Axelrod E.Z. Strengthening reinforced concrete structures with composite materials. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2003. No. 3. Pp. 15-16.
3. Ustinov B.V., Ustinov V.P. Study of the physical and mechanical characteristics of composite materials (CPM). *Izvestiya vuzov. Construction*. 2009. No. 11-12. Pp.118-125.
4. Design and construction of building structures with fiber-reinforced polymers. CSA S806-12. Mississauga, Ontario, Canada: Canadian Standards Association (CSA); 2012.
5. Mailyan D.R., Polskoy P.P. Georgiev S.V. Properties of materials used in the study of the work of reinforced concrete structures. *Engineering Bulletin of the Don*, 2013, No. 2 (25).
6. Shilin A.A., Pshenichny V.A., Kartuzov D.V. Strengthening reinforced concrete structures with composite materials. Moscow: Stroyizdat. 2004. 144p.
7. Khayutin Yu.G., Chernyavsky V.L., Axelrod E.Z. The use of carbon plastics to strengthen building structures. *Concrete and reinforced concrete*. 2001. No. 6 S. 17-20.
8. Pinajyan V.V. On the issue of strengthening reinforced concrete structures. *Construction industry*. - 1948. - No. 3 - Pp. 14-17.
9. Teryanik V.V., Biryukov A.Yu. Results of experimental studies of the strength and deformability of compressed reinforced elements of reconstructed buildings. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and architecture*. 2009. No. 35 (168).
10. Benzaid R., Mesbah H.A., Amel B. Experimental investigation of concrete externally confined by CFRP composites. 5th International Conference on Integrity-Reliability-Failure (IRF). Inegiinst engenharia mecanica e gestao industrial, 2016. pp. 595-602.
11. Kostenko A.N. Strength and deformability of centrally and eccentrically compressed brick and reinforced concrete columns reinforced with carbon and fiberglass. Abstract. diss. cand. tech. Sciences. Moscow. 2010. 26 p.
12. Podnebesov, P. G. Results of studies of the strength and deformability of reinforced concrete columns reinforced with clips. Urban planning, reconstruction and engineering support for the sustainable development of cities in the Volga region. 2015. Pp. 42-47.
13. Onufriev, N.M. Strengthening reinforced concrete structures of industrial buildings and structures. - Moscow: Stroyizdat - 1965. 342 p.
14. Aksenov V.N., Aksenov N.B., Blagoz A.M., Khutyz A.M. Study of the work of compressed reinforced concrete elements from high-strength concrete. *New technologies*. 2012. No. 4. Pp. 32-35.
15. Aksenov V.N., Mailyan D.R., Blagoz A.M., Khutyz A.M. Features of the calculation of reinforced concrete columns from high-strength concrete according to standard methods. *New technologies*. 2012. No. 4. Pp. 36-43.
16. Polskoy P.P., Georgiev S.V. Influence of various options for external composite reinforcement on the rigidity of flexible compressed elements. *Engineering Bulletin of the Don*, 2017, No. 4 (47).
17. Polskoy P.P., Mailyan D.R., Georgiev S.V. Strength and deformability of flexible reinforced racks at large eccentricities. *Scientific Review*. 2014. No. 12-2. Pp. 496-499.
18. Mailyan D.R., Polskoy P.P. Georgiev S.V. Properties of materials used in the study of the work of reinforced concrete structures. *Engineering Bulletin of the Don*. 2013. No. 2 (25). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1673
19. Mailyan D.R., Polskoy P.P., Georgiev S.V. Framework design and test schemes for experimental poles reinforced with carbon fiber. *Scientific Review*. 2014, No. 10-3. Pp. 667-670
20. Mailyan D.R., Polskoy P.P., Georgiev S.V. Techniques for strengthening with carbon fiber and testing short and flexible racks. *Scientific Review*. 2014. No. 10-2. Pp. 415-418.
21. Polskoy P., Georgiev S., Muradyan V., Shilov A. The deformability of short pillars in various loading options and external composite reinforcement. *E3S Web of Conferences*. 2018. P. 02026.
22. 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. P. 02060
23. Georgiev S. V. Flexible eccentrically compressed reinforced concrete posts reinforced with composite materials. Cand. diss. tech. Sciences, Rostov-on-Don, 2020. 201p. URL: dissercat.com/content/gibkie-vnetsentrenno-szhatye-zhelezobetonnye-stoiki-reinforced-kompozitnymi-materialami