

УДК 624.075.23

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-7-15](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-7-15)

EDN: XGAJUO

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АРМАТУРОЙ

С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В действующих отечественных нормах по проектированию конструкций из бетона, армированных композитной арматурой – СП 295.1325800.2017, не учитывается работа сжатой арматуры при расчете внецентренно сжатых элементов. В рамках проведенных ранее исследований была предложена методика расчета прочности нормальных сечений внецентренно сжатых элементов, которая показала достаточно хорошую сходимость с опытными данными, однако она также показывала некоторую недооценку несущей способности таких элементов. В настоящей работе выполнен дальнейший анализ разработанной методики и сформулированы предложения по ее уточнению с целью выявления дополнительных резервов прочности бетонных элементов, армированных композитной арматурой.

Цель. Уточнение методики расчета прочности нормальных сечений внецентренно сжатых бетонных элементов, армированных композитной арматурой, сравнительный анализ уточненной методики расчета с опытными и теоретическими данными и оценка ее надежности.

Материалы и методы. Теоретические исследования проведены на основе анализа результатов проведенных автором испытаний опытных бетонных образцов, армированных композитной арматурой, на действие внецентренно приложенной статической сжимающей нагрузки, состоящей из четырех серий образцов с общим количеством 12 образцов.

Результаты. Сформулированы предложения по уточнению значения высоты сжатой зоны, а также величины растягивающих напряжений в композитной арматуре в методике расчета прочности нормальных сечений внецентренно сжатых бетонных элементов, армированных композитной арматурой.

Выводы. На основе анализа опытных данных предложена уточненная методика расчета прочности нормальных сечений внецентренно сжатых бетонных элементов, армированных композитной арматурой. Также выполнена оценка предложенной уточненной методики, которая показала, что она обладает необходимым уровнем надежности, при этом обеспечивает наилучшую сходимость с опытными данными.

Ключевые слова: внецентренно сжатые элементы, бетон, композитная полимерная арматура, прочность, расчет, надежность

Для цитирования: Зенин С.А. Некоторые вопросы расчета прочности нормальных сечений внецентренно сжатых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;42(3):7–15. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-7-15](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-7-15)

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках конкурсного финансирования АО «НИЦ «Строительство».

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.07.2024

Поступила после рецензирования 15.08.2024

Принята к публикации 22.08.2024

A REFINED METHOD FOR DESIGNING THE STRENGTH OF NORMAL CROSS-SECTIONS OF ECCENTRICALLY COMPRESSED CONCRETE ELEMENTS WITH COMPOSITE POLYMER REINFORCEMENT

S.A. ZENIN, Cand. Sci. (Engineering)

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The operating standards for the design of concrete structures with composite reinforcement SP 295.1325800.2017 do not consider the work of compressed reinforcement when calculating eccentrically compressed elements. The previous studies proposed a method for calculating the strength of normal cross-sections of eccentrically compressed elements. Though this method has shown a reasonably high agreement with the experimental data, it has also indicated some underestimation of the load-bearing capacity of such elements. In this paper, a further analysis of the developed method is performed and suggestions for its refinement are formulated in order to identify additional reserves of strength of concrete elements reinforced with composite reinforcement.

Aim. To refine the method for designing the strength of normal cross-sections of eccentrically compressed concrete elements with composite reinforcement, to compare the refined method with experimental and theoretical data, as well as to assess its reliability.

Materials and methods. Theoretical studies are based on the results of the tests that included the experimental examination of concrete samples reinforced with composite reinforcement under the action of eccentrically applied static compressive load consisting of four series of specimens with a total of 12 specimens.

Results. The suggestions were formulated for specifying the value of the height of the compressed zone, as well as the value of tensile stresses in composite reinforcement for designing the strength of normal cross-sections of eccentrically compressed concrete elements with composite reinforcement.

Conclusions. Based on the analysis of experimental data, a refined methodology for designing the strength of normal cross-sections of eccentrically compressed concrete elements reinforced with composite reinforcement is proposed. In addition, the assessment of the proposed refined method is carried out, which proved to have the required level of reliability, while providing the best convergence with the experimental data.

Keywords: eccentrically compressed elements, concrete, composite polymer reinforcement, strength, design, durability

For citation: Zenin S.A. A refined method for designing the strength of normal cross-sections of eccentrically compressed concrete elements with composite polymer reinforcement. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;42(3):7–15. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-7-15](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-7-15)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

The study was carried out within the framework of competitive financing of JSC Research Center of Construction.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 30.07.2024

Revised 15.08.2024

Accepted 22.08.2024

Принятая в действующем СП 295.1325800.2017 [1] методика расчета прочности сжатых бетонных элементов с композитной полимерной арматурой (далее – АКП) использует эмпирические зависимости, основанные на результатах экспериментальных исследований, имеющихся к 2017 году. При этом в связи с ограниченным объемом выполненных экспериментов зависимости для расчетов были приняты с осторожностью, что обеспечивает некоторый запас несущей способности сжатых бетонных элементов с композитной полимерной арматурой. Данное обстоятельство приводит к перерасходу композитной арматуры в таких элементах.

Ранее был опубликован ряд работ [2, 3], в которых также была освещена проблема недооценки несущей способности внецентренно сжатых элементов и были сформулированы предложения по внесению изменений в методику норм. В частности, в работе [3] была предложена зависимость для определения высоты сжатой зоны внецентренно сжатого бетонного элемента, армированного композитной арматурой, с учетом работы композитной полимерной арматуры в сжатой зоне бетона при расчете прочности методом предельных усилий. Одним из основных факторов, влияющих на расчетную оценку прочности нормального сечения внецентренно сжатого элемента, является высота сжатой зоны x , значение которой зависит от уровня напряжений в растянутой арматуре в предельном состоянии по прочности. Наиболее удобным инструментом оценки в этом случае является использование относительной высоты сжатой зоны нормального сечения $\xi = x/h_0$, где h_0 – рабочая высота сечения. В качестве базовой зависимости относительной высоты сжатой зоны от напряжений в арматуре σ_f была принята линейная зависимость в пределах от ее граничного значения ξ_R до единицы (рис. 1).

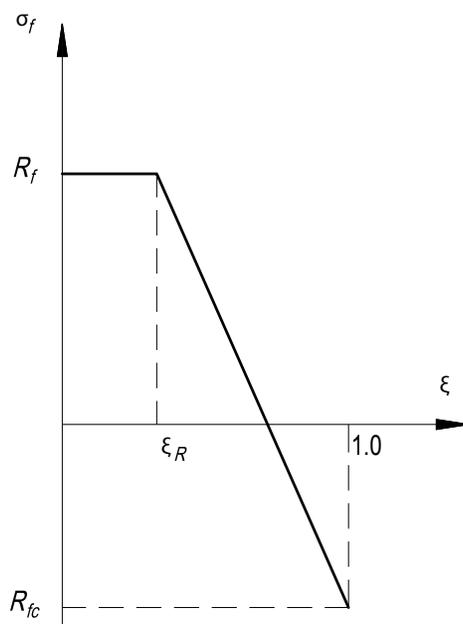


Рис. 1. Расчетная зависимость напряжений в арматуре от относительной высоты сжатой зоны сечения внецентренно сжатого элемента

Fig. 1. Design dependence of stresses in the reinforcement on the relative height of the compressed zone of the section of an eccentrically compressed element

С учетом принятого подхода линейная зависимость напряжений в арматуре σ_f от относительной высоты сжатой зоны принята в виде

$$\sigma_f = R_f - \frac{\xi - \xi_R}{1 - \xi_R} \times (R_f + R_{fc}), \tag{1}$$

где R_f – расчетное сопротивление растяжению композитной арматуры;

R_{fc} – расчетное сопротивление сжатию композитной арматуры.

Граничную высоту сжатой зоны ξ_R определяют в соответствии с положениями норм [1] по формуле

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\epsilon_f}{\epsilon_{b2}}}, \tag{2}$$

где ω – характеристика сжатой зоны бетона, принимаемая для тяжелого бетона классов до В60 включительно равной 0,8, а для тяжелого бетона классов В70–В100 и для мелкозернистого бетона – равной 0,7;

ϵ_f – расчетное значение предельных относительных деформаций композитной полимерной арматуры, принимаемое равным $\epsilon_f = \frac{R_f}{E_f}$;

ϵ_{b2} – относительные деформации сжатого бетона при напряжениях R_b , принимаемые по СП 63.13330.2018 [4].

Если в предельном по прочности состоянии напряжения в растянутой арматуре σ_f достигают ее сопротивления осевому растяжению R_f , то высоту сжатой зоны x определяют из условия равновесия внешних и внутренних продольных сил в сечении:

$$N - R_b \times A_b - R_{fc} \times A'_f + R_f \times A_f = 0. \tag{3}$$

Если напряжения в композитной арматуре не достигают своих предельных значений при растяжении R_f , то выражение (3) записывают в виде

$$N - R_b \times A_b - R_{fc} \times A'_f + \sigma_f \times A_f = 0. \tag{4}$$

Из совместного решения уравнений (1) и (4) значение высоты сжатой зоны для случая, когда $\xi > \xi_R$, будет определяться по формуле

$$x = \frac{N + A_f \times \frac{R_f + R_{fc} \times \xi_R}{1 - \xi_R} - R_{fc} \times A'_f}{R_b \times b + \frac{(R_f + R_{fc}) \times A_f}{h_0 \times (1 - \xi_R)}}. \tag{5}$$

В работе [2] также отмечено, что в случае расчета элемента без учета сжатой арматуры в формуле (5) достаточно принять $A'_f = 0$ и $R_{fc} = 0$. Получаемая зависимость будет отличаться от принятой в [1]:

$$x = \frac{N + \frac{R_f \times A_f}{1 - \xi_R}}{R_b \times b + \frac{R_f \times A_f}{h_0 \times (1 - \xi_R)}}. \tag{6}$$

Можно отметить, что для базовой линейной зависимости относительной высоты сжатой зоны ξ от напряжений в арматуре σ_f правая граница была принята равной единице (рис. 1). Для случая центрального сжатия, при котором высота сжатой зоны равна высоте сечения, правая граница будет несколько больше, и ее так же, как и в принятых расчетах железобетонных конструкций, можно принять равной $\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{h}{0,9h} = 1,1$. В этом случае диаграмма, приведенная на рис. 1, примет вид, изображенный на рис. 2.

При учете предлагаемого уточнения напряжения в растянутой арматуре будут определяться по формуле

$$\sigma_f = \frac{1,1 \times R_f + R_{fc} \times \xi_R - \xi \times (R_f + R_{fc})}{1,1 - \xi_R}. \quad (7)$$

Решая совместно уравнения (3) и (7), получим уточненную зависимость для определения высоты сжатой зоны

$$x = \frac{N + A_f \times \frac{1,1 \times R_f + R_{fc} \times \xi_R}{1,1 - \xi_R} - R_{fc} \times A'_f}{R_b \times b + \frac{(R_f + R_{fc}) \times A_f}{h_0 \times (1,1 - \xi_R)}}. \quad (8)$$

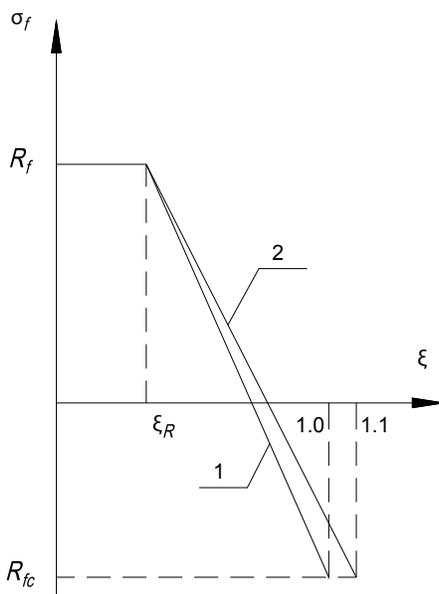
Без учета работы сжатой арматуры зависимость (8) приобретает вид

$$x = \frac{N + \frac{1,1 \times R_f \times A_f}{1,1 - \xi_R}}{R_b \times b + \frac{R_f \times A_f}{h_0 \times (1,1 - \xi_R)}}. \quad (9)$$

Верификация предлагаемой методики была выполнена на примере опытных внецентренно сжатых образцов из бетона, армированных композитной полимерной арматурой, испытания которых при различных эксцентриситетах приложения сжимающей нагрузки были проведены в 2024 году в НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство». Детальное описание опытных образцов приведено в работе [5].

По результатам выполненных экспериментальных исследований было установлено, что опытные значения разрушающих нагрузок для опытных образцов на 15–30% превышают расчетные значения, вычисленные по методике действующего СП 295.1325800.2017 [1]. Это в целом подтверждает факт наличия определенных запасов в методике расчета норм.

Для полноты оценки были рассмотрены различные методики расчета прочности нормальных сечений с определением высоты сжатой зоны x по зависимостям действующих



1 – по работе [2]; 2 – предлагаемая корректировка
Рис. 2. Расчетная зависимость напряжений в арматуре от относительной высоты сжатой зоны сечения внецентренно сжатого элемента с учетом предлагаемой корректировки

1 – according to [2]; 2 – proposed refinement
Fig. 2. Design dependence of stresses in the reinforcement on the relative height of the compressed zone of the section of an eccentrically compressed element taking into account the proposed refinement

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа методик расчетов

Table 1

Comparative analysis of calculation methods

| Образец | $N_{он}$ | $N_{сп}$ | $N_{(6)}$ | $N_{(9)}$ | $N_{(5)}$ | $N_{(8)}$ | $N_{он}/N_{сп}$ | $N_{он}/N_{(6)}$ | $N_{он}/N_{(9)}$ | $N_{он}/N_{(5)}$ | $N_{он}/N_{(8)}$ |
|---------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 592,4 | 494,58 | 542,44 | 544,93 | 558,09 | 560,8 | 1,20 | 1,09 | 1,09 | 1,06 | 1,06 |
| 2 | 584,4 | 508,79 | 547,8 | 550,07 | 559,46 | 561,84 | 1,15 | 1,07 | 1,06 | 1,04 | 1,04 |
| 3 | 581,1 | 499,36 | 538,25 | 540,54 | 549,79 | 552,19 | 1,16 | 1,08 | 1,08 | 1,06 | 1,05 |
| 4 | 370,4 | 315,91 | 363,36 | 368,14 | 369,41 | 374,33 | 1,17 | 1,02 | 1,01 | 1,00 | 0,99 |
| 5 | 381,1 | 317,89 | 365,62 | 370,41 | 371,87 | 376,79 | 1,20 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1,01 |
| 6 | 401,1 | 314,08 | 361,53 | 366,31 | 367,73 | 372,62 | 1,28 | 1,11 | 1,09 | 1,09 | 1,08 |
| 7 | 581,1 | 497,6 | 536,6 | 538,91 | 548,07 | 550,49 | 1,17 | 1,08 | 1,08 | 1,06 | 1,06 |
| 8 | 581,1 | 497,6 | 536,6 | 538,9 | 548,07 | 550,49 | 1,17 | 1,08 | 1,08 | 1,06 | 1,06 |
| 9 | 561,1 | 499,36 | 538,25 | 540,54 | 549,79 | 552,19 | 1,12 | 1,04 | 1,04 | 1,02 | 1,02 |
| 10 | 381,1 | 317,71 | 365,48 | 370,1 | 371,35 | 376,31 | 1,20 | 1,04 | 1,03 | 1,03 | 1,01 |
| 11 | 381,1 | 314,08 | 361,53 | 366,31 | 367,73 | 372,63 | 1,21 | 1,05 | 1,04 | 1,04 | 1,02 |
| 12 | 373,1 | 314,11 | 361,37 | 366,16 | 367,48 | 372,38 | 1,19 | 1,03 | 1,02 | 1,02 | 1,00 |

Примечание: $N_{он}$ – опытная разрушающая нагрузка, кН; $N_{сп}$ – расчетная нагрузка, определенная по методике действующего СП 295.1325800.2017 [1]; $N_{(6)}$ – расчетная нагрузка, определенная с учетом зависимости (6) по работе [2]; $N_{(9)}$ – расчетная нагрузка, определенная с учетом предлагаемой зависимости (9); $N_{(5)}$ – расчетная нагрузка, определенная с учетом зависимости (5) по работе [2]; $N_{(8)}$ – расчетная нагрузка, определенная с учетом предлагаемой зависимости (8).

Note: $N_{оп}$ – experimental destructive load, kN; $N_{сп}$ is the calculated load determined according to the methodology of the current SP 295.1325800.2017 [1]; $N_{(6)}$ is the calculated load, determined taking into account the dependence (6) on the work [2]; $N_{(9)}$ is the calculated load, determined taking into account the proposed dependence (9); $N_{(5)}$ is the calculated load, determined taking into account the dependence (5) on the work [2]; $N_{(8)}$ is the calculated load, determined taking into account the proposed dependence (8).

норм – СП 295.1325800.2017 [1], по уточненной зависимости (6), приведенной в работе [2], и по предложенной зависимости (9), а также с учетом сжатой арматуры по зависимости (5) и уточненной зависимости (8). В табл. 1 приведены результаты сравнительного анализа фактической разрушающей нагрузки испытанных опытных образцов [5] с расчетной прочностью по перечисленным выше методикам.

Оценка несущей способности с учетом влияния сжатой арматуры выполнялась из условия ограничения деформаций сжатой арматуры, обеспечивающего совместность работы бетона и арматуры, предельными деформациями укорочения сжатого бетона. С этой целью напряжения в сжатой арматуре определялись по предельным деформациям сжатого бетона, принятых равными 0,002, при фактическом модуле упругости композитной арматуры при сжатии. При этом влияние степени насыщения элемента поперечной арматурой на возможность увеличения относительных деформаций при сжатии, как предложено в работе [6], не учитывалось.

Как видно из табл. 1, методика расчета действующих норм СП 295.1325800.2017 [1] показывает достаточно осторожные результаты – расчетная нагрузка выше опытной в среднем на 18%. Учет влияния сжатой арматуры при определении высоты сжатой зоны нормального сечения с применением методик работы [2] по зависимостям (5) и (6) показывает лучшее схождение с опытными данными – в среднем расхождение составляет 4 и 6% соответственно.

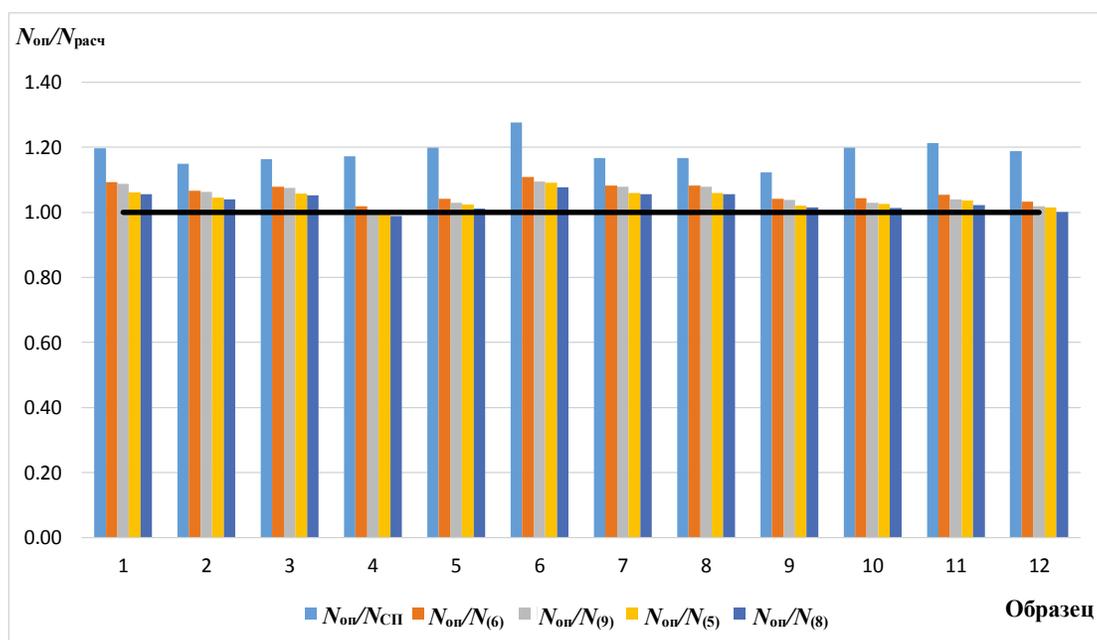


Рис. 3. Сравнение расчетных значений нагрузок, определенных по методикам СП [1], работы [2] и предлагаемой методике, с опытными значениями

Fig. 3. Comparison of design values of loads determined by the methods of SP [1], paper [2], and the proposed methodology with the experimental values

При этом предложенные методики с уточнением высоты сжатой зоны – зависимости (8) и (9) — показали наименьшее расхождение с опытными данными – 3 и 5% соответственно.

Для наглядности результаты сравнительного анализа приведены на рис. 3.

Дополнительно была проведена оценка надежности методик определения прочности нормального сечения внецентренно сжатых элементов из бетона, армированного композитной арматурой при относительной высоте сжатой зоны больше граничной при определении высоты сжатой зоны по указаниям действующего свода правил, работы [2], а также предлагаемых зависимостей (8) и (9). Оценка надежности выполнялась для соотношения опытного и расчетного значения разрушающих нагрузок, определяемого при высоте сжатой зоны по различным методикам. Результаты оценки надежности методик приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наименьшее среднее значение соотношения опытных значений разрушающих нагрузок к расчетным, характеризующее лучшую сходимость с опытными данными, имеет предлагаемая зависимость (8). Это несущественно, но несколько ниже, чем для зависимости (5) по работе [2], учитывающей содержание сжатой арматуры в сечении. Принимая содержание сжатой арматуры при определении высоты сжатой зоны равным нулю (упрощенная методика), незначительно ухудшается сходимость с опытными данными как для зависимости (6) работы [2], так и для предлагаемой зависимости (9). В данном случае расхождение составляет всего 2% в осторожность, что для практического применения упрощенных методик можно считать приемлемым.

Отдельно следует обратить внимание на параметр минимального значения. С точки зрения обеспечения необходимой надежности методики данный параметр не должен быть

Таблица 2

Оценка надежности методик расчетов

Table 2

Reliability assessment of design methods

| Показатель | Определение высоты сжатой зоны x | | | | |
|--|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | По [1] | По (6) | По (9) | По (5) | По (8) |
| Среднее значение $N_{оп}/N_{расч}$ | 1,18 | 1,06 | 1,05 | 1,04 | 1,03 |
| Среднее квадратическое отклонение | 0,038 | 0,027 | 0,030 | 0,025 | 0,027 |
| Коэффициент вариации | 0,032 | 0,026 | 0,028 | 0,024 | 0,026 |
| Минимальное значение | 1,12 | 1,02 | 1,01 | 1,00 | 0,99 |
| Обеспеченность 0,95 | 1,12 | 1,02 | 1,00 | 1,00 | 0,99 |
| Количество результатов | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Количество результатов $N_{оп}/N_{расч} < 1,0$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Количество результатов $N_{оп}/N_{расч} < 1,0$ (%) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,3 |

ниже обратного значения коэффициента надежности, т. е. ниже единицы. Для всех методик это условие соблюдается, за исключением предлагаемой методики (8), для которой минимальное значение соотношения составляет 0,99, что практически соответствует единице.

Также все методики имеют достаточную обеспеченность 0,95 при достаточно высоком значении коэффициента вариации. Все методики показывают обеспеченность не ниже 1 либо равную или близкую к ней.

Кроме того, все методики расчета, за исключением предложенной зависимости (8), не имеют значений соотношений, меньших единицы. Для предлагаемой методики (8) имеется одно значение соотношения опытной разрушающей нагрузки к расчетной, равное 0,99. При общем числе опытных образцов это составляет 8,3% от общего числа, что выше приемлемого значения в 5%. Это обуславливает необходимость проведения дальнейшей верификации методики на большей выборке опытных образцов.

Выводы

По общим результатам проведенной оценки видно, что в целом все методики обладают необходимым уровнем надежности, при этом отдельные из них, в частности использующие предлагаемые зависимости (8) и (9), обеспечивают наилучшую сходимость с опытными данными.

Безусловно, данная оценка надежности проведена на незначительном количестве опытных данных, т. е. на ограниченной выборке, и требует большего количества опытных образцов для анализа. При этом более лучшая сходимость предлагаемых методик с опытными данными обеспечивает наиболее оптимальные конструктивные решения при сохранении необходимого уровня надежности.

Список литературы

1. СП 295.1325800.2017. Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2017.
2. Мухамедиев Т.А., Майоров С.А. Расчет прочности внецентренно сжатых бетонных элементов с композитной полимерной арматурой. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;33(2):150–160. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-150-160](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-150-160)
3. Мухамедиев Т.А., Майоров С.А. Расчет прочности внецентренно сжатых элементов с учетом работы композитной полимерной арматуры. Строительная механика и расчет сооружений. 2022;(4):29–35. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2022.4.29.35>
4. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Минстрой России; 2018.
5. Мухамедиев Т.А., Зенин С.А., Кудяков К.Л. Исследование прочности внецентренно сжатых бетонных элементов, армированных композитной арматурой. Бетон и железобетон. 2024;621(2):13–19. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2\(621\)-13-19](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2(621)-13-19)
6. Мухамедиев Т.А., Майоров С.А. Учет работы сжатой композитной полимерной арматуры при расчете прочности сжатых элементов методом предельных усилий. В: Соломинские чтения: материалы первой Междунар. науч. конф. (8–9 нояб. 2022 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ; 2022, с. 106–109.

References

1. SP 295.1325800.2017. Concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars. Design rules. Moscow: Standartinform Publ.; 2017. [In Russian].
2. Mukhamediev T.A., Maiorov S.A. Strength calculation of eccentrically compressed concrete elements with a composite polymer reinforcement. Vestnik NIC Stroitel`stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2022;33(2):150–160. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-150-160](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-150-160)
3. Mukhamediev T.A., Maiorov S.A. Strength calculation of eccentrically compressed elements taking into account the operation of compressed fiber reinforced polymer bars. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii = Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2022;(4):29–35. [In Russian]. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2022.4.29.35>
4. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Gosstandart of Russia; 2018. [In Russian].
5. Mukhamediev T.A., Zenin S.A., Kudiyakov K.L. Research of strength of uniaxial compressed concrete elements reinforced with FRP. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 2024;621(2):13–19. [In Russian]. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2\(621\)-13-19](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2(621)-13-19)
6. Mukhamediev T.A., Maiorov S.A. Accounting for the operation of compressed composite polymer reinforcement when calculating the strength of compressed elements by the method of marginal forces. In: Solomin readings: proceedings of the first International Scientific Conference, November 8–9, 2022. Chelyabinsk: SUSU Publishing Center; 2022, pp. 106–109. [In Russian].

Информация об авторе / Information about the author

Сергей Алексеевич Зенин, канд. техн. наук, заведующий лабораторией теории железобетона и конструктивных систем, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: lab01@mail.ru

Sergey A. Zenin, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory of the Theory of Reinforced Concrete and Constructive Systems, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: lab01@mail.ru