

К методике расчета железобетонных гибких внецентренно сжатых конструкций, работающих с большим эксцентриситетом

С. В. Георгиев, Н. О. Сизен, А. И. Соловьёва

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

Аннотация: Представлена новая разработанная методика расчета, включающая положения нормативного расчета и учитывающая особенность работы внецентренно сжатых железобетонных конструкций, работающих при больших эксцентриситетах приложения нагрузки. В методику расчета внесены коррективы, учитывающие следующие факторы: в нормативной методике используется максимальное сопротивление арматуры растяжению, разработаны предложения по определению фактического сопротивления растянутой арматуры, которое, по сути, будет значительно ниже предельного. Даны предложения, учитывающие предельные деформации бетона, которые, в свою очередь, будут являться ключевой величиной для определения сопротивления растянутой арматуры в поперечном сечении. Представлены результаты экспериментальных исследований гибкой железобетонной стойки, работающей с эксцентриситетом приложения нагрузки, равным $e_0=0,32h$. Проведен анализ теоретических расчетов и экспериментальных исследований. Разработана формула, позволяющая определить реальное сопротивление растянутой металлической арматуры в момент, предшествующей разрушению. Составлен алгоритм расчёта. При сравнении теоретических и опытных прочностей разница не превышала 5%.

Ключевые слова: сталь, тяжелый бетон, железобетон, испытания, стойка.

Введение

При проектировании несущих конструкций зданий и сооружений, использование простых нормативных методик расчёта позволяет получать результаты с существенным запасом прочности, что, по сути, является нормальным процессом проектирования [1, 2]. Использование подобных методик при выполнении научных исследований и в практическом применении, в области обследования и усиления железобетонных конструкций, может привести к искажениям результатов научно-технических идей или к неправильным выводам по решению усиления конструкций, что достаточно дорогостоящее мероприятие [3-5].

Следовательно, помимо нормативных методик расчёта, необходимо иметь в наличии точные методики расчёта, позволяющие определять истинную несущую способность конструкций.

Такая необходимость возникла при выполнении исследовательских работ по изучению прочности и жёсткости гибких железобетонных конструкций [6, 7].

Цели и задачи

1. Разработать уточнение к нормативной методике расчёта, позволяющей определять точную прочность железобетонных внецентренно сжатых конструкций.

2. Изготовить и испытать две железобетонные колонны гибкостью 20 при эксцентриситетах приложения нагрузки, равных 2 и 4 см, рассчитать прочность колонн по предложенной уточнённой методике и сравнить с экспериментальными значениями прочности.

Материалы и методы

В качестве материалов научного исследования выступают результаты экспериментальных исследований прочности гибких железобетонных стоек, а также нормативная методика расчёта по прочности сжатых железобетонных конструкций.

Подробная информация опытных образцов описана в работе [8], однако, для понимания вопроса исследования, ниже приведены основные характеристики.

Размеры поперечного сечения опытных образцов были приняты 12,5 на 25 см при этом, длина была принята 240 см. Проектный класс бетона - В30-35, внутреннее армирование состояло из четырёх стержней диаметром 12 А500, поперечное армирование было выполнено в виде вязаных хомутов с шагом 180 мм из металлической проволоки диаметром 6,5 мм класса В500. На конструкциях, в областях передачи нагрузки снизу и сверху использовались металлические сетки ячейкой 4 на 5 см, накрученные на металлический каркас, в количестве 6 штук с каждой стороны, установленные с шагом 2,5 и 5 см. Нагрузка передавалась через

металлические пластины специальными ножами для обеспечения проектного эксцентриситета приложения нагрузки.

Нормативная методика расчёта, по которой рассчитывались опытные образцы, составлялась согласно своду правил.

Предложение к уточнению нормативной методики расчёта, выполнялось согласно полученным в процессе испытаний экспериментальным данным относительных деформаций бетона.

Анализ положений свода правил СП63.13330.2018 в области проектирования железобетонных внецентренно сжатых гибких конструкций показал, что расчёт по прочности ведётся по балочной схеме. Такая методика расчёта подразумевает достижение в растянутой арматуре предельного сопротивления R_{sc} , что справедливо не для всех внецентренно сжатых конструкций.

При проектировании новых конструкций такое допущение идёт в запас прочности, что является нормой для современного строительства, однако, при выполнении работ по обследованию существующих конструкций, при проверке прочности, занижение несущей способности может привести к необходимости проведения работ по усилению, что является дорогим и сложным мероприятием.

В области научных исследований, отсутствие точных методик расчёта конструкций может существенно исказить достигнутые результаты.

В связи с возникшей проблемой, на кафедре ЖИКК ДГТУ было принято решение разработать алгоритм расчёта, который будет решать описанные выше проблемы.

Ниже представлен разработанный алгоритм расчёта и приведены экспериментальные данные прочности железобетонных стоек, которые испытали в лаборатории кафедры ЖИКК ДГТУ, а также расписаны предложения по совершенствованию нормативной методики расчёта.

Предложения и результаты

Методика расчёта по определению прочности гибких внецентренно сжатых железобетонных элементов была построена, согласно положениям свода правил СП63.13330.2018. Однако, согласно нормативной расчётной формуле (ф. 6.6) СП63.13330.2018, положение нейтральной линии и величины значения сжатой зоны бетона x находится с учетом равновесия моментов всех внутренних усилий (6). При этом, сумма моментов рассчитывается относительно действия внешней силы, следовательно, ее плечо и момент равны нулю, что дает возможность определения значения x , не зная при этом расчетной нагрузки. Однако, в формуле (6) используется предельное значение сопротивления растяжению арматуры R_s , в действительности же, согласно утверждениям п. 5.2.1 [9], разрушение элемента начинается со стороны сжатой зоны и сопротивление арматуры не достигает своего предельного значения R_s . Предлагается в формуле (6) заменить R_s на σ_s . Вывод формулы σ_s основывается на основе 2-х закономерностей (1) и (2).

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s \quad (1)$$

$$\xi_s = \frac{x}{h} = \frac{0.8}{1 + \frac{\sigma_s}{E_s \cdot \varepsilon_{b2}}} \quad (2)$$

Так как составляющие уравнений 1 и 2 или известны (h и E_s), или определяются в процессе расчета (x и ε_{b2}), то это дает возможность вывести формулу определения σ_s , которая будет выглядеть следующим образом:

$$\sigma_s = \varepsilon_{b2} \cdot E_s \cdot \left(\frac{0.8 \cdot h}{x} - 1 \right) \quad (3)$$

В свою очередь, согласно известным исследованиям [10], предельные относительные деформации бетона $\varepsilon_{b,ult}$ на разрушающей стадии работы колонны определяются по формуле (4):

$$\varepsilon_{b,ult} \cdot 10^5 = 1,1 \cdot \left(340 - 175 \cdot \alpha - 170 \cdot (1 - 2.25 \cdot \alpha) \cdot e^{-5.75 \cdot \sqrt[3]{\alpha \cdot \frac{e_0}{h}}} \right) \quad (4)$$

Предлагается заменить значение ε_{b2} на $\varepsilon_{b,ult}$ (5), и вместо значения R_s вставить σ_s (6). При этом, получив новую формулу (6) равенства моментов всех сил, будем учитывать максимальные деформации бетона на сжатие и реальное сопротивление арматуры на растяжение:

$$\sigma_s = \varepsilon_{b,ult} \cdot E_s \cdot \left(\frac{0.8 \cdot h}{x} - 1 \right) \quad (5)$$

$$R_b \cdot b \cdot x \cdot (e - h_0 + x/2) \pm R_{sc} \cdot A'_s \cdot e' - R_s \cdot A_s \cdot e = 0 \quad (6)$$

$$R_b \cdot b \cdot x \cdot (e - h_0 + x/2) \pm R_{sc} \cdot A'_s \cdot e' - \left(\varepsilon_{b,ult} \cdot E_s \cdot \left(\frac{0.8}{\xi} - 1 \right) \right) \cdot A_s \cdot e = 0 \quad (7)$$

Алгоритм расчета по прочности внецентренно сжатых железобетонных колонн с учетом предложений по уточнению нормативной методики представлен на рисунке 1. Расчёт выполняется итерационно (методом последовательного приближения), сопоставление результатов теоретической и экспериментальной прочности приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов железобетонных стоек по прочности по недеформированной схеме.

Шифр образц а	Параметры расчета		Результаты эксперимента		Результаты расчета			
	λ_h	e_0	$R_{b,n}^{exp}, МПа$	$N^{exp} кН$	$N^{theor} кН$	$x, см$	η	N^{theor} / N^{exp}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
БГ	20	2,4	39,16	410,0	415	5,47	1,89	1,01
ВГ	20	4,4	43,44	242,5	254	4,55	1,57	1,04

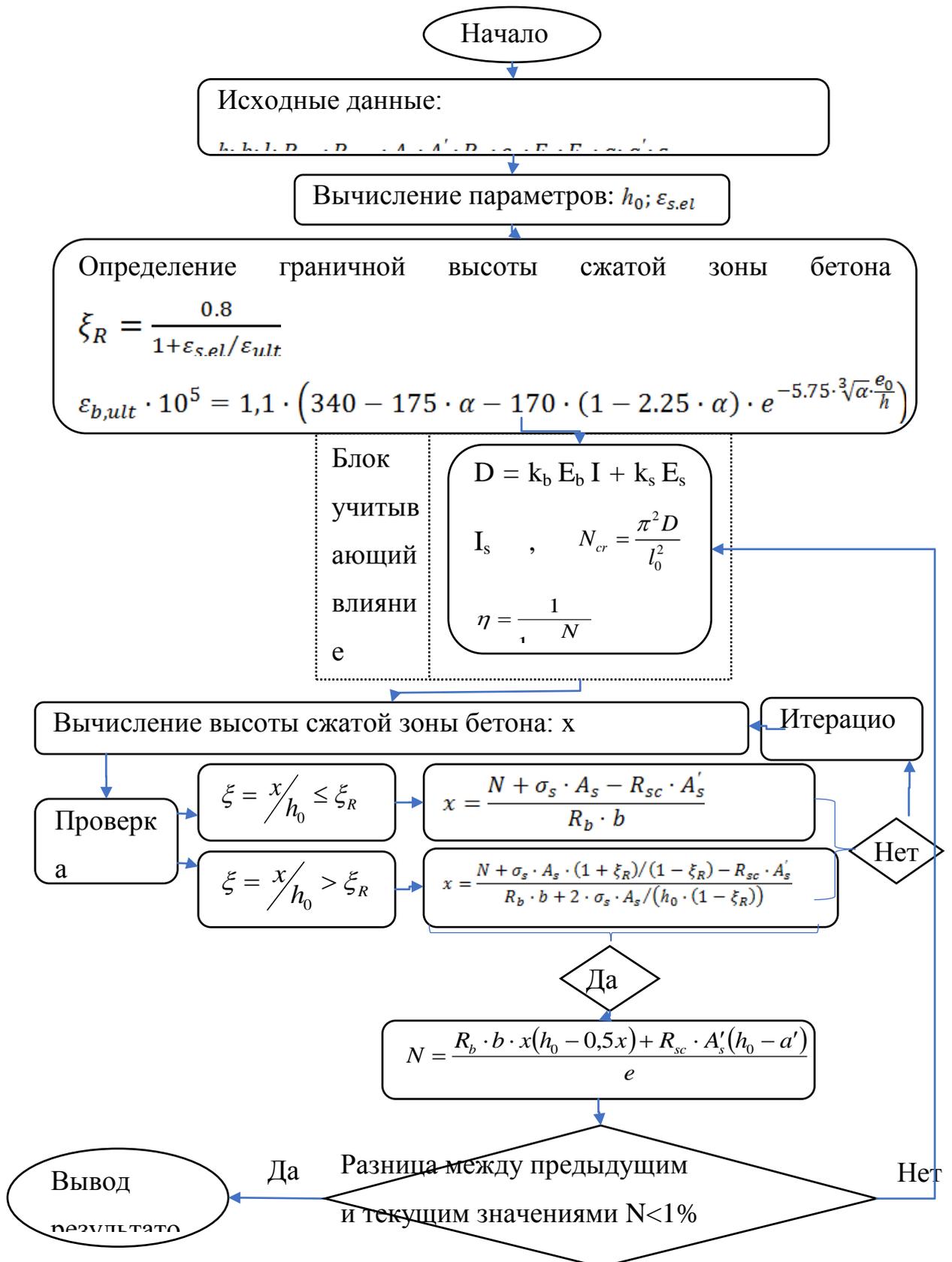


Рис. 1. Блок-схема расчета внецентренно сжатых железобетонных стоек по прочности

Анализ и выводы

- В результате проведённых исследований была разработана формула (5), позволяющая определить реального сопротивление растянутой металлической арматуры в момент, предшествующей разрушению.

- Составлен алгоритм расчёта с учётом предложений по совершенствованию, включающий разработанные предложения.

- Были выполнены экспериментальные исследования и при сравнении теоретических и опытных прочностей разница не превышала 5%.

В заключение можно сказать, что разработанный алгоритм расчёта рис.1 рекомендуется применять при определении истинной прочности внецентренно сжатых железобетонных колонн, использовать его в области обследования и усиления конструкций зданий и сооружений, а также в научно-исследовательских целях.

Литература

1. Мурашкин Г.В., Бородачев Н.А., Снегирева А.И., Мурашкин В.Г. Инновационные методики при изучении теории и практики проектирования железобетонных конструкций и сооружений. Современные проблемы науки и образования. 2008. № 4. С. 88-91.

2. Ключкова 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.

3. Теряник В.В. Выбор способа усиления железобетонных колонн. Наука - производству. 2004. № 4. С. 66-67.

4. Chajes M.J., Finch W.W., Januszka T.F. Bond and Force transfer of composite material plates bonded to concrete // ACI Structural Journal. 1999. V. 93, № 2. pp. 295-303.

5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Польской П.П., Георгиев С.В. Влияние различных вариантов внешнего композитного армирования на жесткость гибких сжатых элементов // Инженерный вестник Дона, 2017, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4826.
9. Семенов Д.А. Эволюция нормативного подхода к расчету железобетонных элементов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 5. С. 43-50.
10. 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). URL: clck.ru/QgtxD.

References

1. Murashkin G.V., Borodachev N.A., Snegireva A.I., Murashkin V.G. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2008. № 4. pp. 88-91.
 2. Klochkova Z.Ju., Suslova A.E. Kompleksnoe izuchenie i osvoenie nedr Evropejskogo Severa Rossii. Materialy vsrossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Uhta, 2021. pp. 110-112.
 3. Terjanik V.V. Vybor sposoba usilenija zhelezobetonnyh kolonn. Nauka - proizvodstvu. 2004. № 4. pp. 66-67.
-



4. Chajes M.J., Finch W.W., Januszka T.F. ACI Structural Journal. 1999. V. 93, № 2. pp. 295-303.
5. Chikh N., Gahmous M., Benzaid R. Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol III. WCE 2012, July 4-6, 2012, London, U.K.
6. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Nauchnoe obozrenie, 2014. № 12-2. pp. 496-499.
7. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. № 4-1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2734.
8. Pol'skoj P.P., Georgiev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4826.
9. Semenov D.A. Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. 2017. № 5. pp. 43-50.
10. Terjanik V.V., Birjukov A.Ju. Vestnik JuUrGU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. 2009. №35 (168). URL: clck.ru/QgtxD.

Дата поступления: 12.01.2024

Дата публикации: 24.02.2024