

ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ БЕТОНА В РАСЧЁТАХ ПРОЧНОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО НАГРУЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

Мордовский С. С.

Открытый институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет» в г. Похвистнево, Похвистнево, Россия (446453, Самарская область, Похвистнево, ул. Кооперативная, 148"А"), e-mail: Qaer1@yandex.ru

Нелинейную работу бетона предлагают учитывать различными аналитическими зависимостями. Мы рассмотрим некоторые из них. Вопрос о применении диаграмм деформирования осевого сжатия в расчётах конструкций, находящихся в сложнонапряжённом состоянии, волнует учёных и по настоящее время. В данной статье проанализированы расчёты 55 экспериментальных образцов в виде железобетонных колонн. При применении в вычислениях трёх различных диаграмм деформирования бетона, значения прочности оказались примерно одинаковы. Прочность, определённая, согласно разработанному алгоритму, с учётом нелинейного деформирования бетона по экспоненциальной зависимости, показала, несколько лучшую сходимость с экспериментальными данными по сравнению с результатами, полученными с применением трёх- и двухлинейной диаграмм деформирования.

Анализируя результаты собственных и сторонних экспериментов по всем 55 образцам, приходим к выводу о возможности применения диаграмм осевого сжатия бетона для расчётов элементов, находящихся в сложнонапряжённом состоянии без проведения их трансформирования.

Ключевые слова: внецентренное сжатие, железобетон, прочность, диаграмма деформирования.

THE EXPONENTIAL DEPENDENCE OF CONCRETE IN CALCULATIONS ON STRENGTH ECCENTRICALLY OF LOADED REINFORCED CONCRETE COLUMNS

Mordovskiy S. S.

Open Institute (SSUACE Branch) Samara State University of Architecture and Civil Engineering in Pokhvistnevo, Pokhvistnevo, Russia (446453, Samara Region, Pokhvistnevo, str. Kooperativnaya, 148"А"), e-mail: Qaer1@yandex.ru

Nonlinear functioning of concrete offer to take into account a variety of analytical dependencies. We consider some of them. Question of the application of axial compression stress-strain diagram in the calculation designs that are in the complex stress state, and researchers are concerned at the moment. In this article analyzes calculations 55 experimental samples in the form of reinforced concrete columns. When used in the calculation of three different stress-strain diagram for concrete values of strength were about the are the same. Strength, determined in accordance with the developed algorithm taking into account the non-linear deformation of concrete on the exponential dependence, showed a somewhat better convergence with the experimental data as compared with the results obtained with the use of three-and bi-linear stress-strain diagram.

Analyzing the results of its own and third-party experiments in all 55 samples, we conclude on the possible use of diagrams of axial compression of concrete for calculations elements that are in the complex stress state without their transformation.

Keywords: eccentric compression, reinforced concrete, strength, stress-strain diagram.

Введение

На протяжении двух последних десятилетий исследователи в области железобетона активно осуществляют поиск диаграммы деформирования бетона, которая учитывала бы физическую работу бетона и была относительно проста в аналитическом описании. Учитывая современные представления о нелинейности, неравномерности деформирования, анизотропии и других свойствах, диаграмма осевого сжатия бетона имеет криволинейное очертание, напоминающее несимметричную параболу. СП 52-101-2003 во всех случаях при расчёте нормальных сечений по нелинейной деформационной модели, рекомендует

применять билинейную и трёхлинейную диаграммы для бетона. Для арматурной стали применяется диаграмма Прандтля.

Казалось бы, задача оценки напряжённо-деформированного состояния железобетонного элемента может быть разрешена. Однако вопрос о возможности непосредственного применения диаграмм одноосного сжатия (растяжения) бетона для расчётов конструкций, находящихся в сложноподвижном состоянии, по сей день остаётся актуальным, так как не находит единого мнения среди исследователей.

Исследователи внецентренно сжатых элементов не приходят к единому мнению при попытках решить данную задачу. Одни считают, что работу внецентренно сжатых образцов нельзя численно оценить, используя диаграмму бетона при осевом сжатии (Х. Раш, Х. Рюш, С. Стокл, Г. М. Стурман, С. П. Шах и Г. Винтер), другие отмечают неизменность напряжений и деформаций в вершине диаграммы с увеличением лишь предельной сжимаемости с ростом градиента деформации (Л. Е. Кларк, К. Г. Герлстль и Л. Г. Тулин). В. П. Чайка установил, что максимальные напряжения в бетоне при внецентренном сжатии могут повышаться на 10...15 %.

Исследователи, придерживающиеся мнения о различии диаграмм одноосного сжатия и сложноподвижного состояния количественно и качественно, указывают на необходимость трансформации диаграммы деформирования бетона при осевом сжатии перед непосредственным использованием в расчётах. Определение коэффициентов трансформации эталонных диаграмм рассматривалось В. В. Адищевым, Э. В. Березиной, Н. В. Ершовой, Ю. А. Крусью.

Цель

Определение возможности непосредственного применения в расчётах прочности железобетонных колонн экспоненциальной зависимости из [4], учитывающей нелинейное деформирование бетона. Сравнение полученных результатов с результатами, полученными по расчётам прочности согласно СП 52-101-2003. Построение графиков и диаграмм, позволяющих наглядно представить результаты исследований.

Материал и методы исследования

Собственные эксперименты автора, проведённые на базе лаборатории кафедры ЖБК в СГАСУ, включают испытания на одноосное внецентренное сжатие восьми экспериментальных образцов. Каждая серия образцов из двух железобетонных колонн прямоугольного сечения, отличалась от других прочностными характеристиками применяемых материалов, диаметром арматурных стержней и эксцентриситетом приложения внешнего усилия. Приборы и оборудование, применяемое в процессе экспериментов, описаны в [3].

При расчёте прочности нормальных сечений на внецентренное сжатие традиционно используются два уравнения статики:

$$\sum N = 0, \quad (1)$$

$$\sum M = 0. \quad (2)$$

Усилия, входящие в каждое из перечисленных уравнений, записываются аналитическими выражениями, соответствующими физической работе материала. Плечи внутренних усилий определяются геометрически согласно расчётной схеме. Посредством применения средств программирования *MathCad* построен единый алгоритм [3], позволяющий производить вычисления в автоматическом режиме с контролем на определённых ступенях.

Значения прочности собственных экспериментальных образцов просчитывались по нескольким вариантам. При этом варьировались, как вид диаграмм деформирования бетона и арматуры, так и параметрические точки диаграммы состояния бетона – предельная сжимаемость ε_{bR} , краевые деформации ε_{bu} или ε_{bult} , а также значения начального модуля упругости бетона E_b .

Учитывая мнение сторонников различия диаграмм одноосного сжатия и сложнапряжённого состояния, была выполнена трансформация кривой деформирования бетона в виде экспоненциальной зависимости согласно [1].

Кроме сопоставления результатов расчёта по разработанному алгоритму, основные положения которого изложены выше, с собственными экспериментальными данными, для проверки достоверности полученных результатов были проанализированы опытные данные отечественных и зарубежных исследователей, приведённые в [5, 6, 7, 8, 9, 10]. В общей сложности прочность 55 экспериментальных образцов была просчитана по разработанному алгоритму, а также по рекомендациям СП 52-101-2003 с применением трёх- и двухлинейной диаграмм деформирования бетона.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ результатов показал, что применение в разработанном алгоритме диаграммы деформирования бетона в виде экспоненциальной зависимости и диаграммы деформирования арматуры в виде диаграммы Прандтля позволяет получить значение среднего отклонения – 3,5 % и среднего квадратичного – 4,2%. При этом значение E_b определено по формуле Н. И. Карпенко; величина ε_{bR} – в соответствии с Eurocode-2; ε_{bu} – по предложению О. Ф. Ильина [2].

Применение трансформированной кривой деформирования бетона в вычислениях по разработанному алгоритму приводит к значительному завышению результатов прочности.

В результате расчёта прочности 55 экспериментальных образцов с применением различных диаграмм деформирования бетона без учёта их трансформирования (рис. 1) получены следующие значения среднего и среднеквадратичного отклонений:

1. с применением экспоненциальной зависимости: 0,1 % и 11 %;
2. с применением двухлинейной диаграммы: -0,7 % и 11,1 %;
3. с применением трёхлинейной диаграммы: -1,4 % и 11,5 %.

В виде диаграммы значения отклонений экспериментальных и расчётных данных изображены на рис. 2.

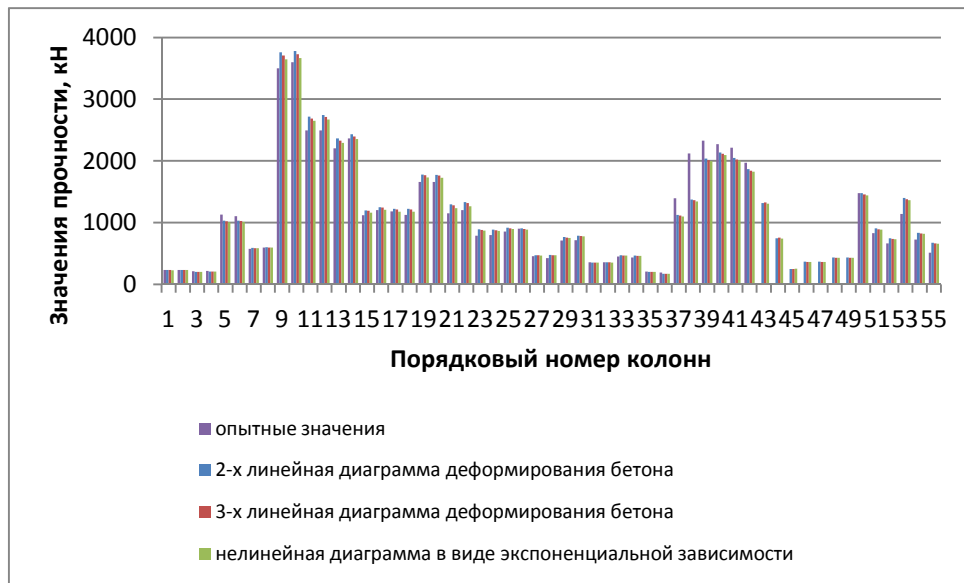


Рис. 1. Опытные и расчётные значения прочности внецентренно сжатых колонн

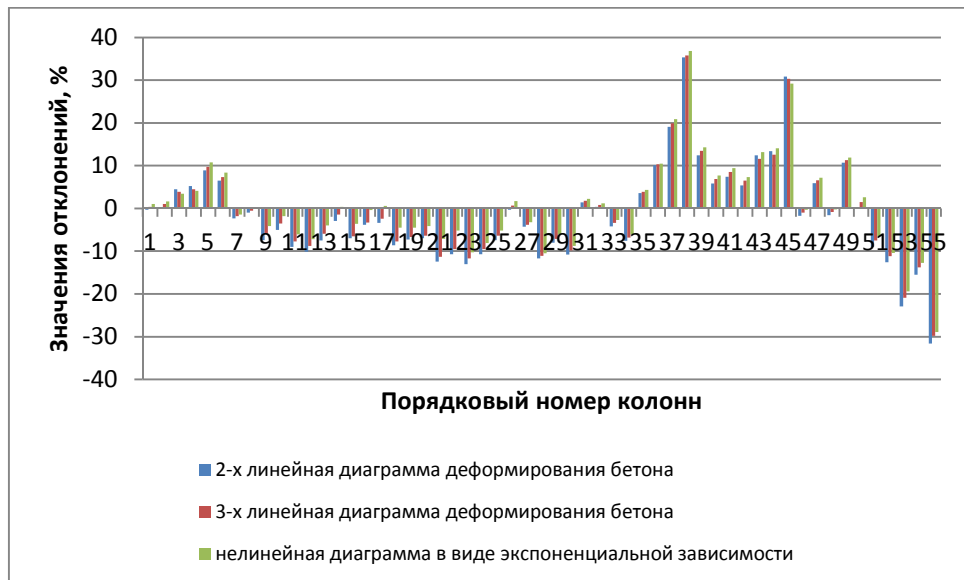


Рис. 2. Значения отклонений опытных (N_{on}) и расчётных (N) значений прочности внецентренно сжатых колонн

Заключение

При применении в вычислениях трёх различных диаграмм деформирования бетона, значения прочности оказались примерно одинаковы. Прочность, определённая, согласно разработанному алгоритму, с учётом нелинейного деформирования бетона, по экспоненциальной зависимости показала, несколько лучшую сходимость с экспериментальными данными по среднему и среднеквадратичному отклонениям в сравнении с результатами, полученными с применением трёх- и двухлинейной диаграмм деформирования.

Анализируя результаты собственных и сторонних экспериментов, в общем количестве 55 железобетонных колонн, приходим к выводу – о возможности применения диаграмм осевого сжатия бетона для расчётов элементов, находящихся в сложнапряжённом состоянии без проведения их трансформирования.

Список литературы

1. Адищев В. В. Определение коэффициентов трансформации эталонных диаграмм для изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов [Текст] / В. В. Адищев, Э. В. Березина, Н. В. Ершова // Изв. вузов. Строительство. – 2011. – № 7. – С. 73–81.
2. Ильин О. Ф., Залесов А. С. Опыт построения обобщённого метода расчёта прочности нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов с учётом особенностей свойств различных бетонов // Прочность, жёсткость и трещиностойкость железобетонных конструкций. – М., 1979. – С. 152–163.
3. Мордовский С. С. Расчёт внецентренно сжатых железобетонных элементов с применением диаграмм деформирования [Текст] / С. С. Мордовский // Бетон и железобетон. – 2012. – № 2. – С. 11–15.
4. Мурашкин Г. В. Моделирование диаграммы деформирования бетона и схемы напряженно-деформированного состояния [Текст] / Г. В. Мурашкин, В. Г. Мурашкин // Известия Вузов. Строительство. – 1997. – № 10. – С. 4–6.
5. Чистяков Е. А. Основы теории, методы расчёта и экспериментальные исследования несущей способности сжатых железобетонных элементов при статическом нагружении: Дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1988. – С. 73–155.
6. Campione, G., Fossetti M., Papia, M. Behavior of Fiber-Reinforced Concrete Columns under Axially and Eccentrically Compressive Loads [Text] / Campione G., Fossetti M., Papia M. // ACI Structural Journal. – May – June 2010. – Title no. 107-S26. – P. 272–281.

7. Furlong, Richard W., Fenves, Gregory L., Kasl, Eldon P., Welded Structural Wire Reinforcement for Columns [Text] / Furlong, Richard W., Fenves, Gregory L., Kasl, Eldon P. // ACI Structural Journal.– September – October 1991. – Title no.88-S60. – P. 585–591.
8. Lin C. H., Chen S. T., and Yang C. A., Repair of Fire-Damaged Reinforced Concrete Columns [Text] / Lin C. H., Chen S. T., and Yang C. A. // ACI Structural Journal. – July – August 1995. – Title no. 92-S38. – P. 406–411.
9. Lloyd N. A. and Rangan B. V., Studies on High-Strength Concrete Columns under Eccentric Compression [Text] / Lloyd N. A. and Rangan B. V. // ACI Structural Journal. – November – December 1996. – Title no. 93-S59. – P. 631–638.
10. Țăranu N., Cozmanciuc C., Oltean R. Experimental study of reinforced concrete columns confined with composite membranes [Text] / Țăranu N., Cozmanciuc C., Oltean R. // «Gheorghe Asachi» Technical University of Iași, Faculty of Civil Engineering and Building Services. – 2011. – Tomul LIV (LVIII), Fasc. 3. – P. 33–45.

Рецензенты:

Мурашкин Г. В., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции», ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет», г. Самара.

Попов В.П., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Технология и организация строительного производства» ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет», г. Самара.