



УДК 691.328.1

DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.42-47

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/ RESEARCH ARTICLE

Учет многократного нагружения в деформационной модели для реконструируемого железобетона

В.Г. Мурашкин^{1*}¹Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

*murvag@mail.ru

Ключевые слова: диаграмма деформирования бетона, реконструкция, железобетон, циклическая нагрузка

История статьи

Поступила в редакцию: 4.02.2023

Доработана: 18.02.2023

Принята к публикации: 27.02.2023

Для цитирования

Мурашкин В.Г. Учет многократного нагружения в деформационной модели для реконструируемого железобетона // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 2. № 2. С. 42–47.

Аннотация. При реконструкции во время эксплуатации сооружения, либо при необходимости продления срока его эксплуатации, железобетонные конструкции требуют обследования и проведения поверочных расчетов. Существующие диаграммы деформирования бетона ориентированы на проектирование новых конструкций и не адаптированы для бетонов реконструируемых сооружений.

Применение экспоненциальной модели деформирования бетона позволяет описывать сопротивление бетона при реконструкции, в том числе и после многократной циклической нагрузки.

Описана методика построения индивидуальной модели деформирования при реконструкции для бетона после воздействия циклической нагрузки с использованием конкретного примера.

Reflection of Multiple Loading in The Deformation Model for Reconstructed Reinforced Concrete

V.G. Murashkin^{1*}¹Samara State Technical University, Samara, Russia

*murvag@mail.ru

Keywords: ribbed slab, T-section, flange width, analytical dependencies

Article history

Received: 4.02.2023

Revised: 18.02.2023

Accepted: 27.02.2023

Abstract. During the reconstruction, or upon expiration of the service life, as well as after external impact, reinforced concrete structures require examination and verification calculations. Existing diagrams of concrete deformation are focused on designing new structures and are not adapted to the concretes of the reconstructed structures.

Using the exponential model of concrete deformation makes it possible to describe the resistance of concrete during reconstruction, including after repeated cyclic loading.

Василий Георгиевич Мурашкин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных конструкций, Самарский государственный технический университет, 443100, г. Самара, ул. Мологвардейская, д. 244; eLIBRARY SPIN-код: 5368-0925, Scopus: 57203962977, E-mail: murvag@mail.ru.

© Мурашкин В.Г., 2023



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

For citation

Murashkin V.G. Reflection of Multiple Loading in The Deformation Model for Reconstructed Reinforced Concrete. *Reinforced concrete structures*. 2023;2(2):42–47.

A technique for creating an individual deformations model under cyclic load during the reconstruction is demonstrated on a specific example.

ВВЕДЕНИЕ

Возведение новых сооружений закономерно увеличивает и число сооружений, требующих проведения обследования эксплуатируемых объектов. Это связано с достижением установленных сроков эксплуатации, необходимостью реконструкции объекта или с опасностью снижения эксплуатационных качеств в результате агрессивного внешнего воздействия. В результате вопрос поверочных расчетов эксплуатируемых конструкций приобретает все большую актуальность.

При нормальных условиях эксплуатации прочность бетона не снижается или увеличивается длительное время, а эксплуатационная надежность не уменьшается. В случае если конструкция подвергалась агрессивному или высоко температурному воздействию, то прочность бетона снижается и может достигнуть аварийных значений. Во всех этих случаях, соотношение прочности и модуля упругости, как правило, не соответствует соотношению между ними, заложенному в нормативные материалы. В этом случае для выполнения поверочного расчета необходимо применять деформационные модели, построенные индивидуально для исследуемого бетона.

В работе [1] обосновано применение при реконструкции экспоненциальной модели деформирования (1) для бетона, основанной на известном уравнении С. Аррениуса, описывающем кинетические процессы, с учетом адаптации для бетона.

$$\sigma(\varepsilon) = A \cdot \varepsilon^B \cdot e^{\frac{-B \cdot \varepsilon}{p}}, \quad (1)$$

где $\sigma(\varepsilon)$ – напряжения;

A и B – коэффициенты, зависящие от вида материала;

ε – текущие относительные деформации;

p – деформации при максимуме напряжений.

Методика построения диаграммы деформирования бетона по параметрам, полученным при обследовании на основании модели (1), разработана ранее и приведена в работе [2]. Важным моментом для применения моделей деформирования в инженерных расчетах является возможность модели быть интегрированной в существующие методы расчета конструкций. Одним из наиболее современных и точных методов расчета является диаграммный метод [3]. Ключевым параметром, отражающим поведение бетона под нагрузкой для диаграммных методов [4], является коэффициент секущего модуля ν_b (2), используемый в деформационной модели вида:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \nu_b},$$

где коэффициент секущего модуля ν_b определяется по формуле:

$$\nu_b = \nu'_b \pm (\nu_0 - \nu'_b) \sqrt{1 - \omega_1 \eta - (1 - \omega_1) \eta^2}, \quad (2)$$

Vasily G. Murashkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete Structures, Samara State Technical University, 443100, Samara, st. Mologvardeiskaya, 244; eLIBRARY SPIN code: 5368-0925, Scopus: 57203962977, E-mail: murvag@mail.ru.

где v'_b , v_0 , ω_1 , η – коэффициенты, которые вычисляются на основании аналитических зависимостей для отдельных видов бетона.

Как показано в работе [5], коэффициент секущего модуля v_b может быть определен из выражения (1), описывающего экспоненциальную модель деформирования бетона. Это позволяет решать задачи, связанные с расчетами конструкций, находившихся в процессе длительной эксплуатации, у которых характеристики бетона, соответствовавшие в начале проектным показателям, изменились [6-13] и потеряли начальное соответствие прочностных характеристик бетона R_b и деформационных характеристик E_b , вследствие чего требуют построения индивидуальных деформационных моделей.

В процессе эксплуатации промышленные объекты в результате воздействия технологического оборудования зачастую подвергаются воздействию многократной циклической нагрузке. В результате, в бетоне накапливаются остаточные деформации и меняется очертания диаграммы деформирования. При использовании диаграммных методов для расчета таких конструкций возникает задача корректного описания закона деформирования с учетом остаточных деформаций. Применение экспоненциальной модели деформирования бетона (1) также позволяет моделировать работу бетона после циклического нагружения.

МЕТОД

В результате многократного циклического приложения сжимающей нагрузки, не превышающей предел выносливости бетона, неупругие деформации после разгрузки остаются. Следующий цикл начинается с остаточных деформаций. После каждого последующего цикла остаточные деформации возрастают (накапливаются), но от цикла к циклу прирост накопленных деформаций снижается. Достаточно большое количество циклов приводит к тому, что накопленные неупругие деформации перестают увеличиваться. В результате кривая на диаграмме смещается относительно начала координат, отражающих относительные деформации (рис. 1).

Зная величину остаточных относительных деформаций $\Delta\varepsilon_b$, за счет выбранных неупругих деформаций можно описать кривую деформирования с помощью выражения (1) таким образом, чтобы диаграмма имела в начале пологий участок, отражающий работу материала уже после многократного нагружения, т.е. ветвь нагрузки последнего цикла до разрушения.

Для этого при определении коэффициенты A и B для выражения (1), используя методику подробно описанную в [1], достаточно к величине текущих относительных деформаций ε_b добавить величину остаточных относительных деформаций $\Delta\varepsilon_b$

$$\sigma(\varepsilon) = A \cdot (\varepsilon + \Delta\varepsilon_b)^B \cdot e^{\frac{-B \cdot (\varepsilon + \Delta\varepsilon_b)}{P}}$$

Общий вид диаграммы деформирования бетона с заданным пологим участком, отражающим выбранные неупругие деформации бетона, представлен на рисунке 1. Величина остаточных относительных деформаций после многократного нагружения зависит от многих факторов, но основное влияние оказывает количество циклов N , относительный уровень напряжений η , деформативность бетона E_{bv} . Таким образом, относительные остаточные деформации являются функцией $\Delta\varepsilon_b = f(N, \eta, E_{bv})$. Исследования в этой области выполнялись Н.И. Карпенко, В.А. Ерышевым, Е.В. Латышевой и другими авторами. Методика расчета $\Delta\varepsilon_b$ указанных авторов приведена в работе [14].

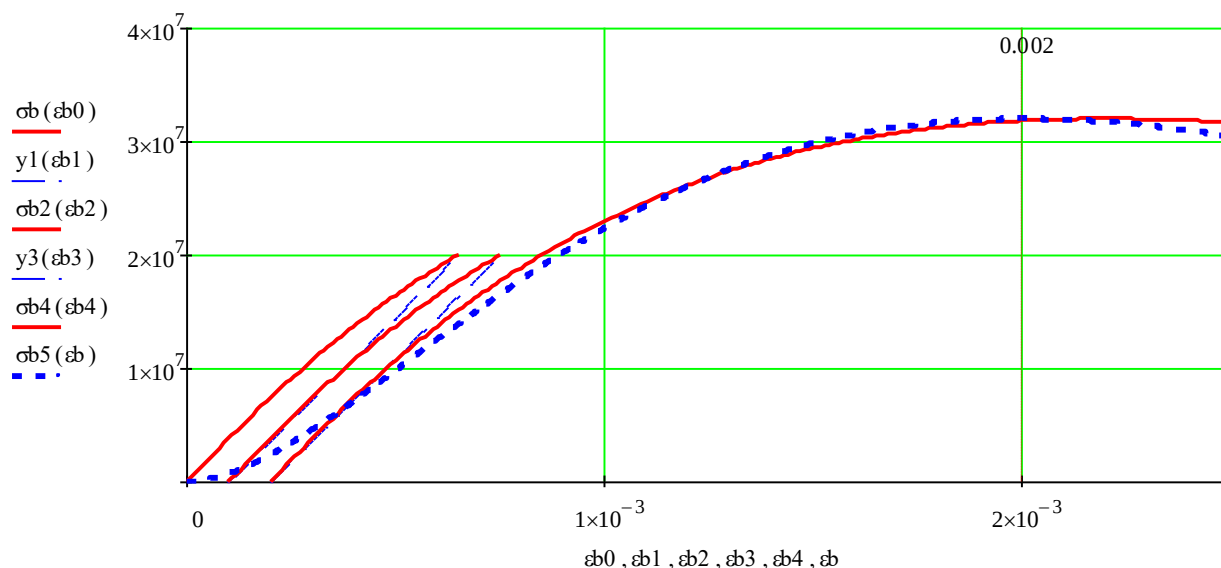


Рис. 1. Диаграмма деформирования бетона при многократном нагружении и диаграмма с пологим участком σ_{b5}
Figure 1. Concrete deformation diagram under multiple loading and a diagram with flat sections σ_{b5}

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основываясь на экспериментальных данных, полученных авторами в работе [14], построим с применением выражения (1) кривые деформирования для исходного бетона и после воздействия циклической сжимающей нагрузки следующего вида:

- 3 цикла нагрузкой, вызывающей напряжения в бетоне 13,3 МПа;
- 1 цикл нагрузки до напряжений 15,6 МПа;
- 3 цикла нагрузки до напряжений 20 МПа.

Для построения исходной диаграммы деформирования на основании выражения (1) по экспериментальным данным необходимо вычислить коэффициенты A и B . При первом нагружении до напряжений сжатия в бетоне на уровне 13,3 МПа, что соответствует максимальной нагрузке первого цикла, величина относительных деформаций бетона $\tilde{\varepsilon}_{b1}$ составила 0,00052. На вершине диаграммы $\sigma_b = 33,3$ МПа, относительные деформации зафиксированы на уровне $\varepsilon_b = 0,00213$ ($p = 0,00213$). Составим систему из двух уравнений на основе выражения (1) для напряжений и соответствующих относительных деформаций ($\sigma_b = 13,3$ МПа; $\varepsilon_b = 0,00052$) и ($\sigma_b = 33,3$ МПа; $\varepsilon_b = 0,00213$):

$$13.3 \cdot 10^6 = A \cdot (0.00052)^B \cdot e^{\frac{-B(0.00052)}{0.00213}}$$

$$33.3 \cdot 10^6 = A \cdot (0.00213)^B \cdot e^{\frac{-B(0.00213)}{0.00213}}$$

В результате решения приведенной выше, системы уравнений значения коэффициентов для исходной диаграммы $A = 7,585 \cdot 10^{11}$, $B = 1,403$.

Из полученных экспериментальных данных [14] ветвь нагрузки последнего цикла до разрушения в конце третьего цикла при максимальных напряжениях для этого цикла 20 МПа имеет относительные деформации $\tilde{\varepsilon}_{b3} = 0,00099$. Исходя из этой пары значений σ – ε и пары для вершины диаграммы ($\sigma_b = 33,3$ МПа, $p = 0,00213$), получим $A = 2,39 \cdot 10^{14}$, $B = 2,207$. Кроме того, предлагаемая диаграмма деформирования на основе выражения (1) позволяет смоделировать стабилизационную кривую деформирования бетона при циклических нагружениях. Основываясь на вычисленной по методике [14] величине относительных деформаций $\tilde{\varepsilon}_{bc} = 0,00059$ при напряжениях в бетоне 13,3 МПа, а также вершины стабилизационной диаграммы

$\hat{\sigma}_{bc} = 25,4$ МПа, $p = 0,00213$, получаем необходимые коэффициенты A и B . Все построенные выше кривые приведены на рисунке 2.

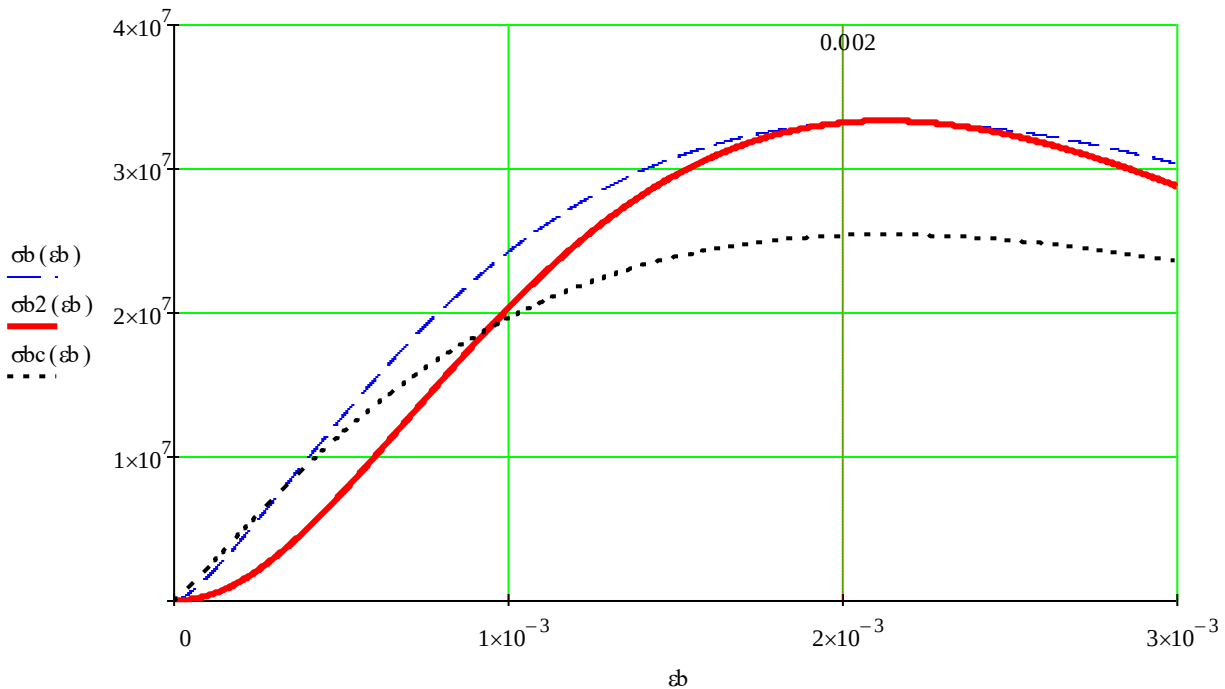


Рис. 2. Экспериментальная исходная диаграмма σ_b , ветвь нагрузки до разрушения после циклических нагружений σ_{b2} и рассчитанная стабилизационная диаграмма бетона σ_{bc}

Figure 2. Experimental initial diagram σ_b , load branch before failure after cyclic loading σ_{b2} and calculated stabilization diagram of concrete σ_{bc}

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая модель деформирования бетона позволяет описывать работу бетона после циклического нагружения при обследовании на основе полученных экспериментальных данных, а также моделировать диаграммы сопротивления на основе различных методик расчета деформаций при таких нагружениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Травуш В.И., Мурашкин В.Г. Модель деформирования бетона для реконструируемого железобетона // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2022. №18(4), 132–137. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-4-132-137>
2. Мурашкин В.Г., Мурашкин Г.В., Травуш В.И. Расчет несущей способности конструкций зданий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 5 (383). С. 222–228.
3. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. О диаграммной методике расчета деформаций стержневых элементов и ее частных случаях // Бетон и железобетон. 2012. № 6. С. 20–27.
4. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаikin О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // Строительство и реконструкция. 2012. № 2. С. 11–20.
5. Мурашкин В.Г. Коэффициент секущего модуля для реконструируемого железобетона // Строительство и реконструкция. 2022. №(6). С.50–55. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-104-6-50-55>
6. Тамразян А. Г. Несущая способность коррозионно-поврежденных изгибаемых железобетонных элементов, подвергнутых огневому воздействию // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 4. С. 130–137. DOI 10.22337/2077-9038-2022-4-130-137. – EDN JLNJZW.
7. Гениев Г.А. Зависимость прочности бетона от времени // Бетон и железобетон. 1993. № 1. С. 15–17.
8. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направление развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и срезовых воздействиях // ПГС. 2013. №2. С. 28–32.

9. Селяев, В.П., Низина Т.А. Оценка долговечности железобетонных конструкций с применением метода деградационных функций // Второй международный симпозиум. Проблемы современного бетона и железобетона. Минск. 2009. С. 369–385.
10. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: АСВ, 2003. 500 с.
11. Баженов Ю.М., Мурашкин В.Г. Учет изменения прочности бетона при проектировании железобетонных конструкций // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2017. № 20. С. 244–251.
12. Петров В.В. К вопросу построения моделей расчета долговечности конструкций // Сб. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Саранск: СГУ. 2014. С. 136–144.
13. Mushtaq Sadiq Radhi, Shakir Ahmed Al-Mishhadani, Hasan Hamodi Joni. Effect of Age on Concrete Core Strength Results // The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/307858837> (дата обращения: 01.11.2021).
14. Карпенко Н. И., Ерышев В.А., Латышева Е.В. Методика построения диаграмм деформирования бетона повторными нагрузками сжатия при переменных уровнях напряжений // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 9–13

REFERENCES

1. Travush V.I., Murashkin V.G. Model' deformirovaniya betona dlya rekonstruiruemogo zhelezobetona. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022. No 18(4). Pp. 132–137. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-4-132-137>
2. Murashkin V.G., Murashkin G.V., Travush V.I. Raschet nesushhej sposobnosti konstruksij zdaniy tekstil'noj promyshlennosti [Calculation of the bearing capacity of structures of buildings of the textile industry]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2019. No. 5. Pp: 222–228.
3. Karpenko N.I., Karpenko S.N. O diagrammnoj metodike rascheta deformatsij sterzhnevyykh ehlementov i ee chastnykh sluchayakh. *Beton i zhelezobeton*. 2012. № 6 Pp. 20–27.
4. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radajkin O.V. K opredeleniyu deformatsij izgibaemykh zhelezobetonnykh ehlementov s ispol'zovaniem diagramm deformirovaniya betona i armatury. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2012. No 2. Pp. 11–20.
5. Murashkin V.G. Secant modulus ratio for reconstructable reinforced concrete. *Building and Reconstruction*. 2022. No 6. Pp. 50–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2022-104-6-50-55>
6. Tamrazyan A. G. Nesushchaya sposobnost' korrozionno-povrezhdennykh izgibaemykh zhelezobetonnykh ehlementov, podvergnutykh ognevomu vozdeystviyu. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2022. No 4. Pp. 130–137. DOI 10.22337/2077-9038-2022-4-130-137. – EDN JLNJZW.
7. Geniev G.A. Zavisimost' prochnosti betona ot vremeni. *Beton i zhelezobeton*. 1993. no 1. Pp. 15–17.
8. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Kontseptsiya i napravlenie razvitiya teorii konstruktiv-noj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovykh i sredovykh vozdeystviyakh. *PGS*. 2013. No 2. Pp. 28–32.
9. Selyaev, V.P., Nizina T.A. Otsenka dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruksij s primeneniem metoda degradatsionnykh funktsij. Vtoroj mezhdunarodnyj simpozium. Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona. Minsk. 2009. Pp. 369–385.
10. Bazhenov Y.M. Tekhnologiya betona. Moscow: ASV, 2003. 500p.
11. Bazhenov Y.M., Murashkin V.G. Uchet izmeneniya prochnosti betona pri proektirovanii zhelezobetonnykh konstruksij. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*. 2017. № 20. Pp. 244–251.
12. Petrov V.V. K voprosu postroeniya modelej rascheta dolgovechnosti konstruksij. Proc. Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdelij i konstruksij. Saransk: SGU. 2014. Pp. 136–144.
13. Mushtaq Sadiq Radhi, Shakir Ahmed Al-Mishhadani, Hasan Hamodi Joni. Effect of Age on Concrete Core Strength Results. The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/307858837> (data obrashheniya: 01.11.2021).
14. Karpenko N. I., Eryshev V.A., Latysheva E.V. Metodika postroeniya diagramm deformirovaniya betona povtornymi nagruzkami szhatiya pri peremennykh urovnayah napryazhenij. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. no 7. Pp. 9–13.