

В.Г. МУРАШКИН¹¹ООО «Риэлтстрой», г. Самара, Россия

КОЭФФИЦИЕНТ СЕКУЩЕГО МОДУЛЯ ДЛЯ РЕКОНСТРУИРУЕМОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Аннотация. При реконструкции, либо по истечении срока эксплуатации, а также в связи с внешним воздействием - железобетонные конструкции требуют обследования и проведения поверочных расчетов. Наиболее современные и точные расчеты построены на диаграммных методах. Существующие диаграммы деформирования бетона ориентированы на проектирование новых конструкций и не адаптированы для бетонов, изменившим свои прочностные и деформационные свойства с течением времени или от внешнего воздействия. Основным параметром, описывающим деформативность бетона это коэффициент секущего модуля. Предложена методика определения коэффициента секущего модуля. Она основана на применении экспоненциальной модели деформирования бетона. Полученный коэффициент, может быть использован для общепринятого описания диаграммы деформирования бетона. Методика рассмотрена на конкретном примере. Предложенная методика позволит значительно расширить диапазон применения диаграммных методов расчета и распространить их на бетоны после длительной эксплуатации или внешнего воздействия.

Ключевые слова: диаграмма деформирования бетона, диаграммный метод, коэффициент секущего модуля, реконструкция.

V.G. MURASHKIN¹¹ООО «Rieltstroy», Samara, Russia

SECANT MODULUS RATIO FOR RECONSTRUCTABLE REINFORCED CONCRETE

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. The most modern and accurate calculations are based on diagram methods. Existing diagrams of concrete deformation are focused on designing new structures and are not adapted to the concretes that have changed their strength and deformation properties over time or because of external influences. The main parameter describing the deformability of concrete is the secant modulus ratio. A technique for determining the secant modulus ratio is proposed in this article. The technique is based on using the exponential concrete deformation model. The obtained secant modulus ratio can be used for the widely adopted description of the concrete deformation diagram. The technique is illustrated on a specific example. The proposed technique significantly expands the application range of diagram methods and extend them to concrete after long-term operation or external impact.

Keywords: stress-strain diagram of concrete, diagram method, secant modulus ratio, reconstruction.

Введение

Наряду с ростом объемов возведения новых сооружений увеличивается и число сооружений, требующих проведение обследования среди уже эксплуатируемых сооружений. Это связано с достижением установленных сроков эксплуатации, необходимостью реконструкции объекта, или с опасностью снижения эксплуатационных качеств в результате агрессивного воздействия среды. Со временем, при нормальных условиях эксплуатации,

© Мурашкин В.Г., 2022

прочность бетона может существенно возрасти, и эксплуатационная надежность не уменьшится. Но если конструкция подвергалась агрессивному или высоко температурному воздействию, то прочность бетона может снизиться до аварийных значений. Во всех этих случаях соотношение прочности и модуля упругости, как правило, не соответствует параметрам, заложенным в нормативные материалы. В этом случае необходимо применять деформационные модели, построенные индивидуально для исследуемого бетона.

В работах [1-3] показана возможность построения диаграммы деформирования бетона по параметрам, полученным при обследовании на основании экспоненциальной модели:

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

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

A и B – коэффициенты, зависящие от вида материала;

ε – текущие относительные деформации;

p – деформации при максимуме напряжений.

Одним из наиболее современных и точных методов расчета является диаграммный метод [4]. Ключевым параметром отражающим поведение бетона под нагрузкой для диаграммных методов является коэффициент секущего модуля ν_b [5-7], используемый для деформационной модели вида:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \nu_b}, \quad (2)$$

где коэффициент секущего модуля ν_b определяется по формуле:

$$\nu_b = \nu'_b \pm (\nu_0 - \nu'_b) \sqrt{1 - \omega_1 \eta - (1 - \omega_1) \eta^2}, \quad (3)$$

где ν'_b , ν_0 , ω_1 , η – коэффициенты, которые вычисляются на основании аналитических зависимостей для отдельных видов бетона.

В нормативных документах [8, 9] приведены значения коэффициентов и аналитические зависимости для их вычисления для охваченных нормами бетонов.

Таким образом, при проектировании новых конструкций задача проработана. Однако, в процессе длительной эксплуатации зданий и сооружений характеристики бетона, соответствовавшие в начале проектным показателям, меняются [10-17]. При этом количественно изменения во времени прочностных характеристик бетона R_b и деформационных характеристик E_b имеют разные значения. Поэтому со временем, характеристики бетона даже не выйдя за рамки по прочностным показателям, принятым в нормах, уже не будут иметь соответствие между собой, заложенное в нормах, и использование нормативной методики определения коэффициента секущего модуля может повлечь ошибку в расчетах. В связи с вышеизложенным, при реконструкции актуальным становится вопрос получения коэффициента секущего модуля для бетонов, изменивших свои свойства в процессе эксплуатации.

Для бетонов, чьи характеристики не соответствуют характеристикам, описанным нормами, необходимо индивидуально корректировать значения коэффициентов из уравнения (3) и аналитические зависимости между ними для получения корректного коэффициента секущего модуля ν_b .

Модель и метод

Более простой и не менее точной альтернативой является метод определения коэффициента секущего модуля ν_b с помощью экспоненциальной модели (1).

Решая совместно выражения (1) и (2) коэффициент секущего модуля может быть получен в виде следующего выражения:

$$v_b(\varepsilon_b) = \frac{A}{E_b} \cdot \varepsilon_b^{(B-1)} \cdot e^{\frac{-B \cdot \varepsilon_b}{p}} \quad (4)$$

Используемые в выражении (4) коэффициенты А и В для любого бетона соответствуют одноименным коэффициентам выражения (1)

Рассмотрим предлагаемую методику для композитного бетона, деформационные характеристики которого выходят за рамки значений норм. Бетон испытан на специальном прессе Wille Geotechnik в Мордовском государственном Университете [18-20]. Для построения деформационной модели композитного бетона из графика испытаний используем две точки:

- Точка окончания начального этапа $\sigma_1=8.1$ МПа и $\varepsilon_1=0.00048$
- Точка максимальной прочности бетона $\sigma=44$ МПа и $p=0.00166$

Максимальная величина деформаций $\varepsilon_k=0.00208$.

Исходя из первой точки получим условное значение начального модуля упругости бетона $E_b = 16\ 875$ МПа.

Подставив в выражение (1) значения напряжений и относительных деформаций для указанных двух точек – составим два уравнения (5) и (6):

$$44 \cdot 10^6 = A \cdot (0.00166)^B \cdot e^{\frac{-B \cdot (0.00166)}{0.00166}} \quad (5)$$

$$8.1 \cdot 10^6 = A \cdot (0.00048)^B \cdot e^{\frac{-B \cdot (0.00048)}{0.00166}} \quad (6)$$

Решив совместно уравнения (5) и (6), получим значения коэффициентов: $A = 8.085 \cdot 10^{17}$, $B = 3.193$, входящих в выражение (4) для композитного бетона.

Результаты исследования и их анализ

Используя полученные значения коэффициентов А и В для уравнения (4), получаем выражение для коэффициента секущего модуля соответствующего исследуемому композитному бетону. Графически, коэффициент секущего модуля v_b представлен на рисунке 1.

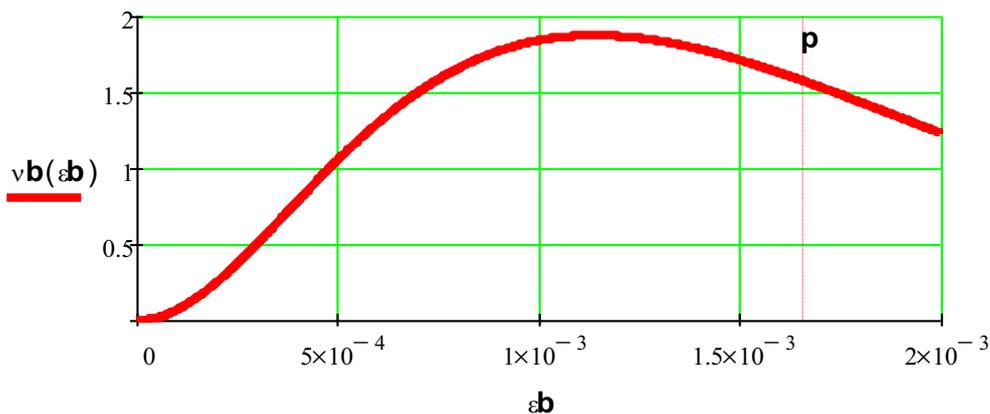


Рисунок 1 - График коэффициента секущего модуля v_b для композитного бетона $\sigma=44$ МПа и $p = 0.00166$

Учитывая, что в выражении (2) относительные деформации получены используя величину напряжений, построим график коэффициента секущего модуля v_b также используя значения напряжений. При этом, учитывая наличие восходящей и нисходящей ветвей, для восходящей ветви обозначим коэффициент секущего модуля v_{vb} , а для нисходящей ветви v_{nb} (рисунок 2).

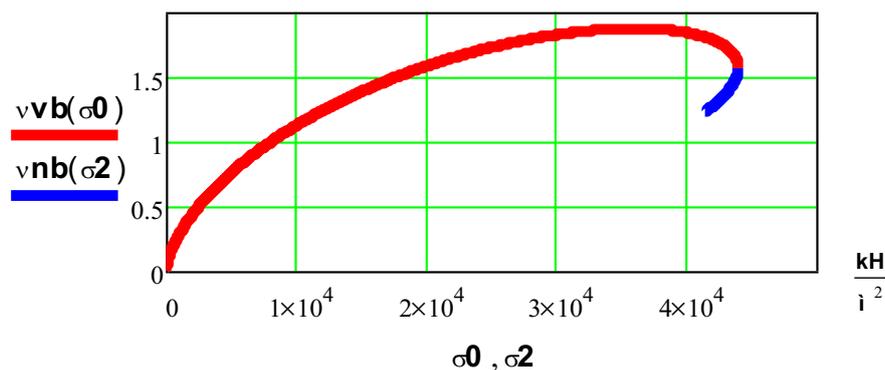


Рисунок 2 - График коэффициента секущего модуля ν_b для композитного бетона $\sigma=44$ МПа и $p = 0.00166$ от напряжений ν_b – для восходящей ветви, ν_{nb} – для нисходящей

Зависимость $(\sigma-\epsilon)$ с учетом выражения (2) может быть записана следующим образом:

$$\sigma_b = \epsilon_b E_b \nu_b \quad (7)$$

Диаграмма деформирования бетона, построенная на основании выражения (7), в котором использован полученный для композитного бетона коэффициент секущего модуля, представлена на рисунке 3.

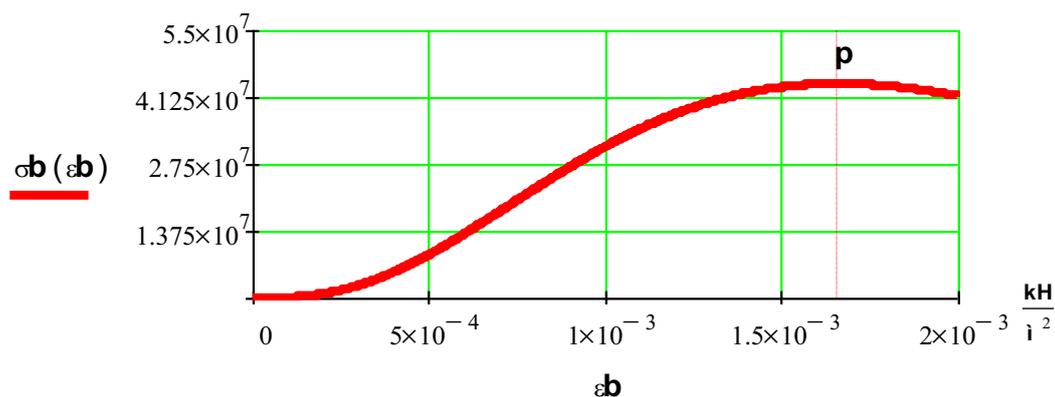


Рисунок 3 - Диаграмма деформирования бетона по выражению (5)

Выводы

Применение предлагаемой в работе модели деформирования бетона (1) позволяет получить коэффициент секущего модуля ν_b для различных видов бетона, чьи характеристики не соответствуют характеристикам, описанным в нормах, в том числе бетона эксплуатируемого длительный срок.

Предложенная методика вычисления коэффициента секущего модуля ν_b позволит значительно расширить диапазон применения диаграммных методов расчета и распространить их на бетоны после длительной эксплуатации, специальные бетоны с пониженным модулем упругости (например, композитный бетон и т.д.), бетоны, получившие неустановленные температурные воздействия, а также высокопрочные бетоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона и схемы напряженно-деформированного состояния // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1997. № 10. С. 4.
3. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 2-14. С. 86-88.
4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. Москва: Стройиздат, 1996. 416 с.
5. Карпенко С.Н., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Диаграммный метод расчета стержневых железобетонных конструкций, эксплуатируемых при воздействии низких климатических (до -70 °С) и технологических (до -150 °С) температур // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 104-108.
6. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. О диаграммной методике расчета деформаций стержневых элементов и ее частных случаях // Бетон и железобетон. Москва. Ладья. 2012. № 6. С. 20–27.
7. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // Строительство и реконструкция. Орел: ОГТУ, 2012. № 2. С. 11–20.
8. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2012. 147 с.
9. Пособие к СП 52-101-2003. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры. Москва: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2005. 217 с.
10. Гениев Г.А. Обобщенный критерий длительной прочности тяжелых бетонов // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 2-14. С. 17-24.
11. Гениев Г.А. Зависимость прочности бетона от времени // Бетон и железобетон. 1993. № 1. С. 15-17.
12. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направление развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // ПГС. 2013. № 2. С. 28-32.
13. 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.
14. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: АСВ, 2003. 500 с.
15. 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.
16. Петров В.В. К вопросу построения моделей расчета долговечности конструкций // Сб. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Саранск: СГУ, 2014. С. 136-144.
17. 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 (ВСЕЕ2-2015) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/307858837> (дата обращения: 01.11.2021).
18. Селяев В.П., Низина Т.А., Балыков А.С., Низин Д.Р., Балбакин А.В. Фрактальный анализ кривых деформирования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов при сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 1. С. 129–146.
19. Низина Т.А., Балбакин А.В. Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2. С. 148–153.
20. Мурашкин В.Г. Особенности нелинейного деформирования бетона // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 1. С. 128-132.

REFERENCES

1. 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.
2. Murashkin G.V., Murashkin V.G. Modelirovanie diagrammy deformirovaniya betona i skhemy napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. 1997. No. 10. Pp. 4.

3. Murashkin G.V., Murashkin V.G. Modelirovanie diagrammy deformirovaniya betona // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. 2007. No. 2-14. Pp. 86-88.
4. Karpenko N.I. Obwie modeli mehaniki zhelezobetona. Moskva: Strojizdat, 1996. 416 p.
5. Karpenko S.N., Karpenko N.I., Yarmakovskij V.N. Diagrammnyj metod rascheta sterzhne-vykh zhelezobetonnykh konstruksij, ehkspluatiruemykh pri vozdeystvii nizkikh klimati-cheskikh (do -70 °S) i tekhnologicheskikh (do -150 °S) temperature [The Diagram Method of Rod's Reinforced Concrete Structures Account which are Exploited in the Action of Low Negative Temperatures] Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2017. No. 1. Pp. 104-108.
6. Karpenko N.I., Karpenko S.N. O diagrammnoj metodike rascheta deformatsij sterzhnevnykh ehlementov i ee chastnykh sluchayakh // Beton i zhelezobeton. Moskva. Lad'ya. 2012. No. 6. Pp. 20–27.
7. 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. Orel: OGTU, 2012. No. 2. Pp. 11–20.
8. SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya [Concrete and won concrete construction. Design requirements]. Moskva: GUP NIIZhB Gosstroja Rossii, 2012. 147 p.
9. Posobie k SP 52-101-2003. Posobie po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksij iz tyazhelogo be-tona bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury [Manual for the design of concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete without prestressing reinforcement]. Moskva: GUP NIIZhB Gosstroja Rossii, 2005. 217 p.
10. Geniev G.A. Obobshhennyj kriterij dlitel'noj prochnosti tyazhelykh betonov // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. 2007. No. 2-14. Pp. 17-24.
11. Geniev G.A. Zavisimost' prochnosti betona ot vremeni // Beton i zhelezobeton. 1993. No. 1. Pp. 15-17.
12. 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.
13. 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.
14. Bazhenov Y.M. Tekhnologiya betona // Moskva: ASV, 2003. 500p.
15. 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. No. 20. Pp. 244-251.
16. Petrov V.V. K voprosu postroeniya modelej rascheta dolgovechnosti konstruksij // Sb. Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdelij i konstruksij. Saransk: SGU, 2014. Pp. 136-144.
17. 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).
18. Selyaev V.P., Nizina T.A., Balykov A.S., Nizin D.R., Balbalin A.V. Fraktal'nyj analiz krivykh deformirovaniya dispersno-armirovannykh melkozernistykh betonov pri szhatii [Fractal Analysis of Deformation Curves of Dispersed-Reinforced Fine-Grained Concrete under Compression]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika. 2016. No. 1. Pp. 129–146.
19. Nizina T.A., Balbalin A.V. Vliyanie mineral'nyh dobavok na reologicheskie i prochnostnye harakteristiki tsementnykh kompozitov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2012. No. 2. Pp. 148–153.
20. Murashkin V.G. Osobennosti nelinejnogo deformirovaniya betona // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2019. No.1. Pp. 128-132.

Информация об авторе:

Мурашкин Василий Геннадьевич

ООО «Риэлтстрой», г. Самара, Россия,

кандидат технических наук, доцент, заместитель директора.

E-mail: murvag@mail.ru

Information about author:

Murashkin Vasiliy G.

ООО «Riehlstroy», Samara, Russia,

candidate of technical sciences, docent, deputy director.

E-mail: murvag@mail.ru