

**ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ / OTHER QUESTIONS RELATED TO
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**

DOI: 10.18454/mca.2016.02.1

Берлинова М.Н.

Кандидат технических наук.

Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет)
(Москва)

**ОЦЕНКА СРЕДНЕЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОННОГО СЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НОРМАЛЬНОГО ЗАКОНА
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

Аннотация

В данной статье рассмотрен подход к вопросу оценки процессов деформирования бетонов с помощью нормального закона распределения. Показана связь экспериментальной зависимости напряжений и деформаций в конкретном бетоне от условий работы.

Ключевые слова: бетон, диаграмма, эксперимент, сопротивление, напряжение, деформация.

Berlinova M.N.

PhD in Engineering.

Moscow State Construction University (National Research University) (Moscow)

ASSESSMENT OF MEDIUM STRENGTH OF CONCRETE SECTION BASED ON NORMAL DISTRIBUTION

Abstract

This article describes the approach to the assessment of concrete deformation processes using the normal distribution law. The connection of the experimental dependence of stress and strain in a particular concrete on the working conditions has been demonstrated.

Keywords: concrete diagram experiment, resistance, voltage, deformation.

Влияние индивидуальных качеств конкретного вида бетона на поведение железобетонной конструкции в процессе эксплуатации определяет область его рационального применения [11, с.4] [13, с. 4] [14, с.11], в которой в конкретных условиях можно обеспечить меньшие затраты на производство. При испытаниях стандартных опытных образцов определяются такое прочностное свойство бетона как кратковременная прочность, изменяющаяся с возрастом.

Постоянные напряжения, т.е. их максимальный уровень, при любой длительности действия которых сжатый бетон не разрушится, понимают под длительной прочностью бетона [4, с.148][5, с.162]. Реальная конструкция эти крайние экстремальные условия не испытывает в большинстве случаев [1, с.48][9, с.197]. Предельные сжимаемость и растяжимость бетона являются важными деформативными характеристиками, увеличение которых влечет увеличение момента образования трещин и сжатой арматуры [3, с.19][12, с.358].

Мерой сопротивления бетона мгновенному деформированию является величина $\frac{1}{E_b}$, где E_b - модуль деформаций бетона. Мерой длительного деформирования является мера ползучести. Известно, что меры деформаций зависят от многочисленных факторов и меняются с изменением вида и возраста конкретного бетона. Увеличение или уменьшение мер деформаций неоднозначно отражается на поведении конструкций [2, с.26][6, с.352][7, с.26].

Сегодня использование диаграмм деформирования является мало продуктивным, так как чистом виде они могут быть использованы только при кратковременном нагружении. В практических расчётах эффект длительности нагружения обеспечивается введением различных коэффициентов, не обеспечивающих учет режима нагружения [10, с.150][15, с.49].

В поперечном сечении бетонной призмы при центральной сжатии действуют равномерно-распределённые напряжения $\sigma_b = \frac{P}{A}$, где P - сила, A - площадь поперечного сечения. При монотонном режимном изменении силы P во времени фиксируя продольные деформации ε_b , получим известную зависимость « $\sigma_b - \varepsilon_b$ ». Однако, свойства материалов изменяются в силу различных причин в поперечном сечении, как и во всем теле конструкции, от точки к точке. Вышесказанное напрямую относится к прочностным характеристикам и деформативности бетона, что подтверждает неравномерность напряжений в поперечном сечении и при центральной сжатии. Чтобы объяснить эти явления, получаемые в экспериментах, правомерно предположить, что процесс деформирования можно описать вероятностными законами распределения. Если принять, что свойства материала в поперечном сечении бетонной призмы на каждой единичной площадке изменяются согласно какому-либо закону распределения $P(\sigma)$, а напряжения σ являются характеристикой прочности бетона, появляющейся с частотой P , тогда можно записать

$$\int_{-\infty}^{\infty} P(\sigma) d\sigma = 1.$$

При повышении напряжений в бетонном образце самые слабые звенья на единичных площадках сечения разрушаются первыми, что мало влияет на поведение опытного образца, т.к. их прочность мала

Это подтверждает линейность деформирования волокон и объясняет линейность опытной диаграммы « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » в начале координат.

В процессе нагружения увеличивается количество звеньев вышедших из строя, что снижает жесткость поперечного сечения, и кривая « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » становится нелинейной. Разгружая опытный образец, видно, что разрушенные звенья не работают и деформации в сечении меняются почти линейно. В тот момент, когда разрушенная часть заходит за экстремум функции нормального закона распределения и остаточная прочность уже не компенсируется уменьшением не разрушенной части поперечного сечения, тогда и появляется ниспадающая ветвь на экспериментальной диаграмме бетона « $\sigma_b - \varepsilon_b$ ».

Используя вероятностный подход на основе нормального закона распределения к оценке прочности по площади сечения сжатого железобетонного элемента (рис.1), может иметь место запись:

$$P(\sigma_b) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\sigma_b - B_m)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

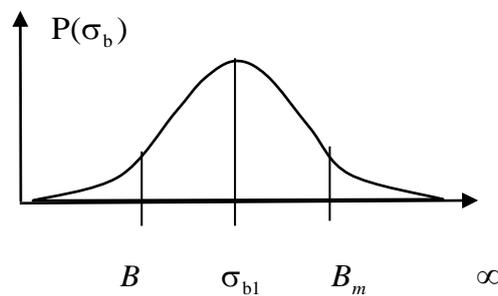


Рис. 1 - Нормальный закон распределения

Если принять среднеквадратичное отклонение $\sigma = \nu B_m$, а коэффициент изменчивости (вариации) прочности бетона - $\nu = \frac{\sigma}{B_m}$, то (1) будет иметь вид:

$$P(\sigma_b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\nu} B_m} e^{-\frac{(\sigma_b - B_m)^2}{2\nu^2 B_m^2}} \quad (2)$$

Для определения зависимости деформаций от прочности бетона $E(B)$ аппроксимируем по форме Роша и Графа

$$E = \frac{aB}{cB + b} \quad (3)$$

Исходя из этого, следовательно, можно записать $E B c_i + b E = a B$. Здесь B - класс бетона (МПа).

Для определения коэффициентов a и b , зависящих от класса бетона, использовались значения модуля упругости по СНиП. Получив для различных бетонов среднее значение коэффициентов $a = 54752c$ и $b = 20,3c$, и подставив эти значения в (3) с учётом $R_b = 0,72B$ получим запись для модуля упругости бетона

$$E_b = \frac{54752 R_b}{R_b + 14,62} \text{ (МПа)} \quad (4)$$

В линейной постановке относительная деформация для случая кратковременного нагружения имеет вид

$$\varepsilon_b(\sigma_b) = \frac{\sigma_b}{E_b} + C(t, t, \sigma_b) \sigma_b \quad (5)$$

где C - мера ползучести, принимаемая в форме Е.Н. Щербакова $C(t, t) = C(28, \infty) \times 0,2$, где 0,2 - функция от времени $f(t, t)$. Откуда

$$\varepsilon_b(\sigma_b) = \frac{\sigma_b}{E_b} + 0,2C(28, \infty)\sigma_b \quad (6)$$

Получаем зависимость предельной меры ползучести от призмной прочности бетонов после линейной аппроксимации для различных классов бетона:

$$C(28, \infty) \times 10^6 = 189,2 - kR_b, \quad (7)$$

где $k = \frac{143-67}{29-11} = \frac{76}{18} = 4,2$.

Для секущего модуля деформаций запишем

$$E_c = \frac{E_b}{1 + \phi(t, t)}, \quad \text{где } \gamma(t, t) = E_b C(t, t) = 0,2E_b C(28, \infty) \quad (8)$$

Тогда параметр нелинейности будет иметь вид:

$$\phi(\sigma_b) = 0,2(189,2 - 4,2 \times R_b)E_b(R_b) = 0,2(189,2 - 4,2 \times R_b) \times \frac{54752R_b}{R_b + 14,62} \quad (9)$$

Исходя из вышеизложенного, используя запись (2) для напряжения $\sigma_b = R_{b,1}$ при ε_1 (рис. 2) и условия $\sigma_b = \varepsilon_b E_b \theta$ запишем:

$$\sigma_b(\varepsilon_1) = \int_{R_{b,1}}^{\infty} P(R_b)E(R_b)\varepsilon_b \theta dR_b = \theta \frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times \nu B_m}} \int_{R_{b,1}}^{\infty} e^{-\frac{(B-B_m)^2}{2\nu^2 B_m^2}} \times \frac{\varepsilon \times E_b(R_b)}{1 + \phi(R_b)} dR_b \quad (10)$$

где $\theta = 0,45$ – коэффициент упругости бетона.

Получить значения средних напряжений в поперечном сечении при заданных деформациях ε интегрируя усилия в неразрушенных волокнах бетона при заданных деформациях.

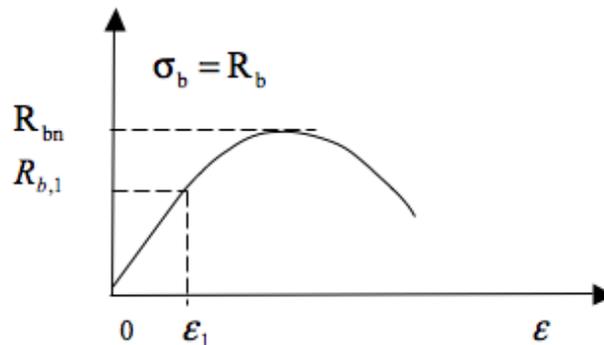


Рис. 2 - Диаграмма деформирования сжатого бетона

Приняв коэффициент a в виде выражения $\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times \nu B_m}}$, получим:

$$\sigma_b(\varepsilon_1) = a\varepsilon \int_{R_{b,1}}^{\infty} e^{-\frac{(B-B_m)^2}{2\nu^2 B_m^2}} \times \frac{\varepsilon \times E_b(R_b)}{1 + \phi(R_b)} dR_b \quad (11)$$

где ε - относительная деформация; ν - коэффициент изменчивости прочности бетона; B_b, B, R_m - соответственно: призмная прочность, класс бетона, среднее значение кубиковой прочности.

$$R_{b,1} = \theta\varepsilon_b \frac{54752R_{b,1}}{R_{b,1} + 14,62} = \theta\varepsilon_b \times 54752 - 14,62 \quad (12)$$

Как показал анализ, определена физическая связь между напряжениями, деформациями, режимом нагружения, на базе фундаментальной зависимости « $\sigma - \varepsilon$ » бетонов, с помощью вероятностного подхода. Предложенный метод к определению средней прочности по площади бетонного сечения доказывается строго в рамках принятой модели. Весь перечень задач, возникающих при расчётах железобетонных конструкций, может быть решён, если принцип построения такой зависимости известен, что, в свою очередь, позволит проектировать оптимальные конструктивные решения.

Литература

1. Берлинов М.В. Расчет конструкций каркаса зданий при динамических воздействиях от промышленного оборудования. Промышленное и гражданское строительство. 2004. № 6. С. 48-49.
2. Берлинов М.В. Учет энергопоглощения железобетонных конструкций в условиях нелинейного трехмерного деформирования. Бетон и железобетон. 2006. № 6. С. 26-29.
3. Берлинов М.В. О расчете железобетонных конструкций при трехмерном динамическом деформировании. Бетон и железобетон. 2004. №6. С.19-22.
4. Берлинова М.Н., Берлинов М.В., Творогов А.В. К вопросу обеспечения прочности бетона методом термодинамики. Научное обозрение. 2015. №22. С. 148-153.
5. Берлинова М.Н., Берлинов М.В., Творогов А.В. Энтропийный критерий прочности бетона в строительных конструкциях. Научное обозрение. 2015. №22. С. 162-165.
6. Берлинов М.В., Воронкова М.Г., Гапов О.Л., Еремин Э.А. Использование метода конечных элементов при расчете железобетонных конструкций с учетом нелинейности и реологии деформирования. Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77).С. 352-354.
7. Берлинов М.В., Макаренков Е.А. Расчет железобетонных конструкций методом конечных элементов с учетом реального описания действующих физических процессов. Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 26-33.
8. Берлинов М.В., Макаренков Е.А. К вопросу о применении метода дополнительных конечных элементов в инженерной практике. Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 11. С. 46-49.
9. Берлинов М.В., Макаренков Е.А. Критерий прочности бетона в условиях трехосного напряженного состояния при динамических воздействиях. Научное обозрение. 2014. № 7-1. С. 197-200.
10. Берлинова М.Н., Творогов А.В. Режимная прочность бетона в строительных конструкциях. Естественные и технические науки. 2015. № 6 (84). С. 530-532.
11. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Клюева Н.В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. Монография. Издательство АСВ. 2004.
12. Зверьев Е.М., Берлинова М.Н., Ким А.Л. Оценка критерия прочности бетона на примере аналогии теорий цилиндрических оболочек и балок. Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77). С. 358-360.
13. Король Е.А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета. Монография. Издательство АСВ. 2001.
14. Король Е.А. Деформационная модель для расчета трехслойных железобетонных элементов. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 5. С. 11-17.
15. Творогова М.Н. Сопроотивление деформированию и разрушению железобетонных конструкций с учетом нелинейных и неравновесных свойств и режимов нагружения. Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2006.

References

1. Berlinov M.V. Calculation of frame building structures under dynamic impacts of industrial equipment. Industrial and civil construction. 2004. № 6. S. 48-49.
2. Berlinov M.V. Accounting for energy absorption of reinforced concrete structures in a non-linear three-dimensional deformation. Concrete and reinforced concrete. 2006. № 6. S. 26-29.
3. Berlinov M.V. On calculation of reinforced concrete structures with three-dimensional dynamic deformation. Concrete and reinforced concrete. 2004. №6. S.19-22.
4. Berlinov M.V., Berlinova M.N., Tvorogov A.V. On the question of ensuring the strength of concrete by thermodynamics. Scientific Review. 2015. №22. S 148-153.
5. Berlinov M.V., Berlinova M.N., Tvorogov A.V. Entropy test the strength of concrete in structures. Scientific Review. 2015. №22. S 162-165.
6. Berlinov M.V., Voronkova M.G., Gapov O.L., Eremin E.A. Using the finite element method in the calculation of reinforced concrete structures subject to deformation and rheology of non-linearity. Natural and Technical Sciences. 2014. № 9-10 (77). S. 352-354.
7. Berlinov M.V., Makarenkov E.A. Calculation of reinforced concrete structures using finite element method based on actual operating description of physical processes. Bulletin MGSU. 2013. № 11. S. 26-33.
8. Berlinov M.V., Makarenkov E.A. On the question of the application of the method of finite elements in additional engineering practice. Industrial and civil construction. 2013. № 11. S. 46-49.
9. Berlinov M.V., Makarenko E.A. The criterion of the strength of concrete under triaxial stress state in dynamic effects. Scientific Review. 2014. № 7-1. S. 197-200.

10. Berlinova M.N., Tvorogov A.V. Regime strength of concrete in structures. Natural and Technical Sciences. 2015. number 6 (84). S. 530-532.
 11. Geniuses G.A., Kolchunov V.I., Klyuev N.V., Nikulin A.I., Pyatikrestovsky K.P. The strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond design impacts. Monograph. Publisher DIA. 2004.
 12. Zveryaev E.M., Berlinova M.N., Kim A.L. Evaluation criteria of concrete strength by the example of similar theory of cylindrical shells and beams. Natural and Technical Sciences. 2014. № 9-10 (77). S 358-360.
 13. King E.A. Three-layer protecting concrete structures from lightweight concrete and features of their calculation. Monograph. Publisher DIA. 2001.
 14. King E.A. Deformation model for calculating the three-layer concrete elements. Proceedings of the higher educational institutions. Building. 2004. № 5. S. 11-17.
 15. Tvorogova M.N. The resistance to deformation and fracture of reinforced concrete structures based on nonlinear and non-equilibrium properties and loading conditions. Diss. for the degree of candidate of technical sciences. Moscow. 2006.
-
-