

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ОСНОВЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СЕЧЕНИЯ

Исаков И.А.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4), e-mail: isakov8620@gmail.com

В статье представлено теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных балок, рассчитанных по деформационной модели сечения, описанной в еuronормах. Данный метод рассматривает работу железобетона как упругопластического материала, основываясь на нелинейных зависимостях (диаграммах) между напряжениями и деформациями в сечении балки, на всех стадиях, начиная с момента приложения нагрузки и заканчивая полным разрушением элемента, а также позволяет определить момент и порядок потери несущей способности бетона и арматуры. Приводится сравнительный анализ экспериментальных данных по исследованию изгибаемых железобетонных элементов со значениями, полученными в результате расчёта балок с такими же геометрическими и физическими параметрами в рамках деформационной модели сечения и модели пластического шарнира.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, железобетонная балка, изгиб железобетонных элементов, упругопластический материал, диаграммы деформирования материалов, пластический шарнир.

THE STUDY OF THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BASED ON THE DEFORMATION MODEL SECTION

Isakov I.A.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia (190005, Saint-Petersburg, 2 Krasnoarmeiskaya street, 4), e-mail: isakov8620@gmail.com

The paper presents a theoretical study of the stress-strain state of reinforced concrete beams, calculated by the cross section deformation model described in euronorms. This method examines the work of reinforced concrete as elastic-plastic material, based on the non-linear dependencies (diagrams) between stress and strain in the section of a beam, at all stages, starting from the date of application of the load and ending with the complete destruction of the element, as well as to determine the time and order of the loss of the bearing capacity of concrete and fittings. The comparative analysis of experimental data for the study of bent reinforced concrete elements with the values obtained from the analysis of beams with the same geometric and physical parameters within the section of the deformation model and the model of plastic hinge.

Keywords: deflected mode, reinforced concrete beam, a bending down of reinforced concrete elements, elasto-plastic material, strain diagrams of materials, plastic hinge.

Введение

В настоящее время в отечественной и зарубежной практике для расчета железобетонных изгибаемых элементов применяется модель пластического шарнира. Данная модель очень проста в вычислении, однако имеет ряд недостатков, не позволяющих проследить ни за развитием напряжений или деформаций по поперечному сечению на всех стадиях нагружения балки, ни за порядком потери несущей способности композитных материалов (арматуры и бетона). Потеря несущей способности балки может возникать вследствие разных причин и при любой стадии напряженно-деформированного состояния сечения. Для полного исследования работы железобетонного элемента недостаточно расчета только по третьей стадии НДС (как это происходит при расчете по методу пластического шарнира). Железобетонная балка в большинстве случаев разрушается вследствие либо текучести

арматуры, либо разрушения крайнего сжатого фибра бетона. Одновременное достижение этих предельных состояний является лишь частным случаем разрушения сечения и происходит редко. Тут большую роль играют многие параметры, такие как высота поперечного сечения балки, рабочая высота поперечного сечения балки, ширина сечения балки, прочность бетона и арматуры, начальный модуль упругости бетона и арматуры, площадь сечения арматуры и др.

В данной статье рассматривается деформационная модель сечения, использующая другие принципы расчета изгибаемых железобетонных элементов. Новая методика позволяет проследить за нелинейным изменением напряженно-деформированного состояния сечения железобетонных балок от начала их загрузки до момента разрушения, а также определить момент потери несущей способности бетона и арматуры.

Цель исследования

Целью исследования является разработка новой нелинейной модели расчета железобетонных балок.

Материал и методы исследования

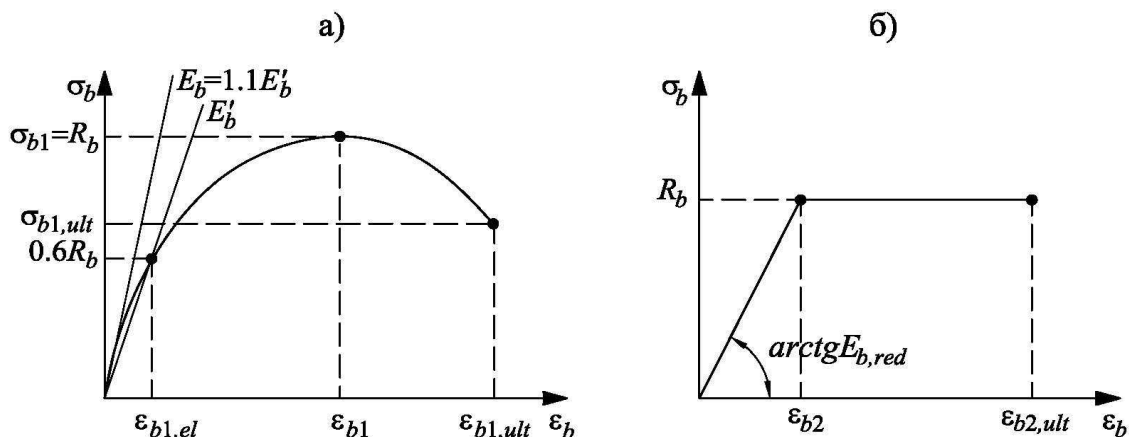


Рис. 1. Зависимости «напряжение-деформация» сжатой зоны бетона: а) общая диаграмма с ниспадающей ветвью; б) диаграмма Прандтля.

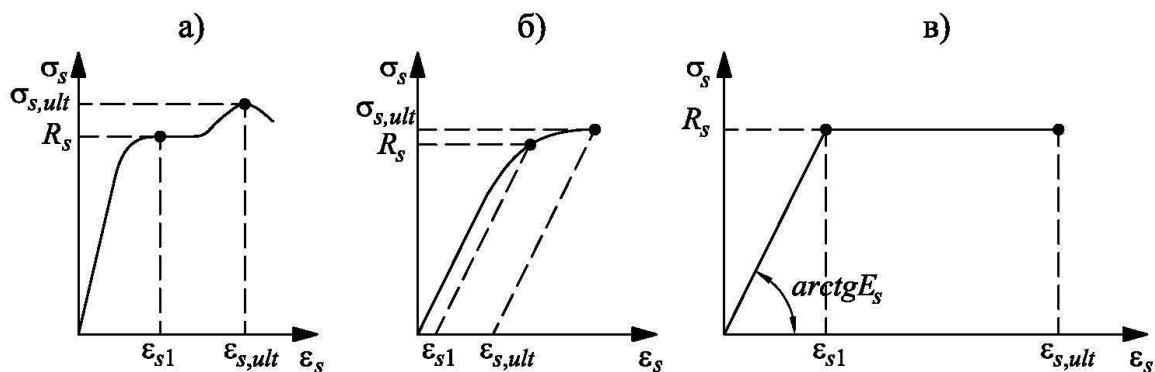


Рис. 2. Зависимости «напряжение-деформация» растянутой арматуры: а) диаграмма с физическим пределом текучести; б) диаграмма с условным пределом текучести; в) диаграмма Прандтля.

Новая модель расчета, основанная на гипотезах и предпосылках евростандартов [6], строится на основе нелинейных деформационных зависимостей бетона и арматуры, представленных в виде диаграмм (рис. 1 и 2).

Ниже представлен расчет прямоугольного поперечного сечения железобетонной балки, с использованием в качестве зависимостей «напряжения-деформации» диаграммы Прандтля для бетона и арматуры (рис. 1б и 2в).

Сперва рассмотрим возможные случаи потери несущей способности железобетонной балки (рис. 3):

I случай: $\epsilon_b < \epsilon_{b2}, \epsilon_s = \epsilon_{s1} (\sigma_s = R_s);$ (1)

II случай: $\epsilon_{b2} \leq \epsilon_b < \epsilon_{b2,ult}, \epsilon_s = \epsilon_{s1} (\sigma_s = R_s);$ (2)

III случай: $\epsilon_b = \epsilon_{b2,ult}, \epsilon_s < \epsilon_{s1} (\sigma_s < R_s).$ (3)

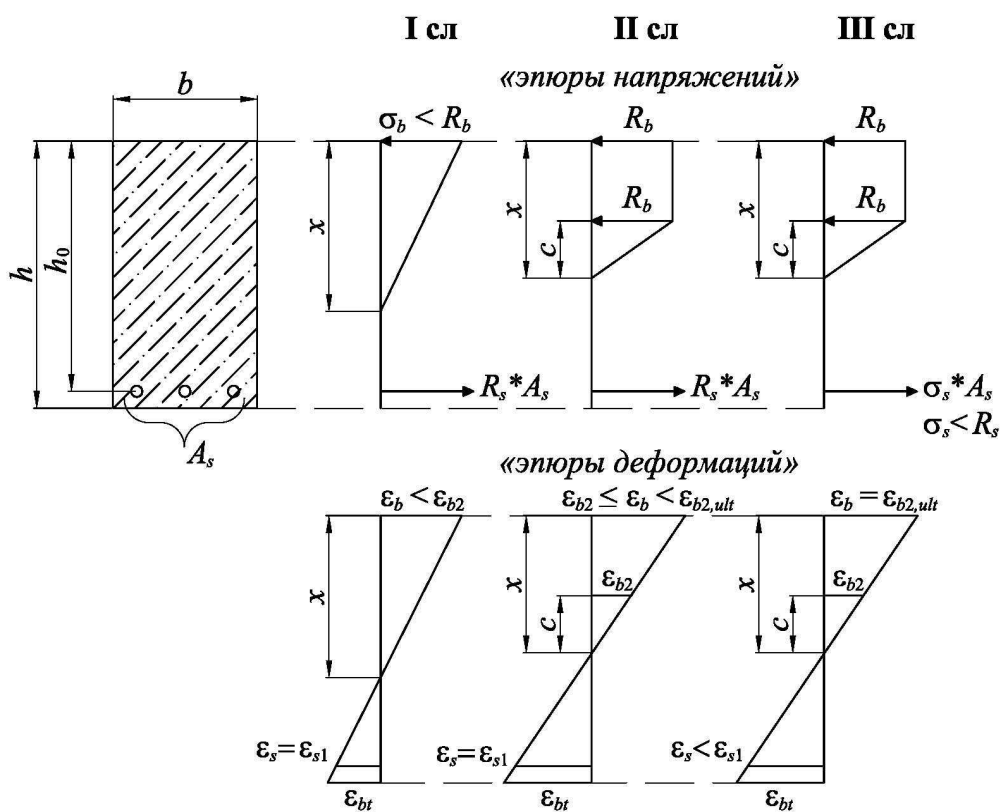


Рис. 3. Поперечное сечение и случаи потери несущей способности железобетонной балки.

Соответственно для каждого случая составляются уравнения равновесия продольных сил N :

Для I случая:
$$\sum N = \frac{1}{2} x \cdot \epsilon_b \cdot E_b \cdot b - A_s \cdot R_s = 0,$$
 (4)

где $x = \frac{\epsilon_b \cdot h_0}{\epsilon_b + \epsilon_{s1}}.$

Для II случая:
$$\sum N = R_b \cdot b(x - c) + \frac{1}{2}c \cdot R_b \cdot b - A_s \cdot R_s = 0, \quad (5)$$

где $x = \frac{\epsilon_b \cdot h_0}{\epsilon_b + \epsilon_{s1}}, c = \frac{\epsilon_{b1} \cdot h_0}{\epsilon_b + \epsilon_{s0}}.$

Для III случая:
$$\sum N = R_b \cdot b(x - c) + \frac{1}{2}c \cdot R_b \cdot b - A_s \cdot \sigma_s = 0, \quad (6)$$

где $x = \frac{\epsilon_b \cdot h_0}{\epsilon_b + \epsilon_s}, c = \frac{\epsilon_{b2} \cdot h_0}{\epsilon_b + \epsilon_s}.$

Для I и II случаев в качестве неизвестной переменной выступает ϵ_b , а для III - ϵ_s . Определив их значения, проверим, удовлетворяют ли эти переменные условиям (1), (2) и (3). В случае сходимости с данными условиями переходим к определению изгибающего момента M :

Для I случая:
$$M = \frac{1}{2}x \cdot \epsilon_b \cdot E_b \cdot b \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right) + A_s \cdot R_s \left(h_0 - \frac{h}{2} \right); \quad (7)$$

Для II случая:
$$M = R_b \cdot b(x - c) \left(\frac{h}{2} - \frac{x - c}{2} \right) + \frac{1}{2}c \cdot R_b \cdot b \left(\frac{h}{2} - x + \frac{2}{3}c \right) + A_s \cdot R_s \left(h_0 - \frac{h}{2} \right); \quad (8)$$

Для III случая:
$$M = R_b \cdot b(x - c) \left(\frac{h}{2} - \frac{x - c}{2} \right) + \frac{1}{2}c \cdot R_b \cdot b \left(\frac{h}{2} - x + \frac{2}{3}c \right) + A_s \cdot \epsilon_s \cdot E_s \left(h_0 - \frac{h}{2} \right). \quad (9)$$

Результаты и выводы исследования

В таблице 2 представлен сравнительный анализ расчетных значений деформационной модели и модели пластического шарнира со значениями опытных балок, испытанных в НИИЖБ [5]. Характеристики этих балок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики опытных балок.

Марка балки	Сечение, $b \times h_0$	R_b , кг/см ²	μ , %
БУ-IVa	15,8 x 21,1	481	2,69
БУ-IVб	15,5 x 21	470	2,75
БУ-Va	15,4 x 21	470	1,39
БУ-Vб	15,3 x 21	474	1,39
БС-IVa	15,2 x 20,6	316	2,84
БС-IVб	15,4 x 20,5	293	2,81

BC-Va	15,5 x 20,1	285	1,41
BC-Vб	15,6 x 20,6	298	1,4

Таблица 2 - Сравнение изгибающих моментов и расположений нейтральных слоёв при расчетах по деформационной модели сечения и модели пластического шарнира со значениями опытных балок.

Марка балки	$M_{оп} \cdot 10^3$, кг·см	$M_{ш} \cdot 10^3$, кг·см	$M_p \cdot 10^3$, кг·см	$x_{оп}$, см	$x_{ш}$, см	x_p , см
БУ-IVa	927	973	954	11,4	7,4	11
БУ-IVб	917	963	945	11,6	7,7	11
БУ-Va	612	620	607	6,9	4,6	8,1
БУ-Vб	612	621	608	7,2	4,6	8
BC-IVa	752	795	729	16,0	11	13
BC-IVб	734	774	726	15,5	12	14
BC-Va	529	537	523	8,8	7,4	10
BC-Vб	554	569	561	8,6	7,2	10

Из представленных результатов видно, что изгибающие моменты M_p и высоты сжатых зон бетона x_p , полученные в результате расчета по деформационной модели сечения, наиболее приближены к значениям $M_{оп}$ и $x_{оп}$ опытных балок по сравнению с $M_{ш}$ и $x_{ш}$ пластического шарнира. Отсюда следует, что деформационная модель сечения экономически и практически более целесообразна для применения в расчетах железобетонных балок, чем модель пластического шарнира.

Список литературы

1. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евронормам. - М. : АСВ, 2007. - 209 с.
2. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01084*. – М. : Госстрой СССР, 1989.
3. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры : СП 52-101-2003. – М. : ФГУП ЦПП, 2004.
4. Санжаровский Р.С., Беглов А.Д. Теория расчета железобетонных конструкций на прочность и устойчивость. Современные нормы и евростандарты. - М. : АСВ, 2006. - 222 с.

5. Семенов П.П. Прочностные и деформативные характеристики различных видов бетонов для расчета прочности и трещиностойкости нормальных сечений при кратковременном действии нагрузки : дис. ... канд. техн. наук / науч. рук. А.А. Гвоздев; НИИЖБ. - М., 1983. – 197 с.

6. ENV 1992-1-1, Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1: General Rules and Rules for Building. – Brussels : European Committee for Standardization, 1992.

Рецензенты:

Глухих В.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Техническая механика», ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.

Веселов А.А., д.т.н., профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.