

УДК 624.012.44

ШКУРУПИЙ А.А., к.т.н., доцент (*ПолтНТУ им. Ю. Кондратюка*)
МИТРОФАНОВ П.Б., к.т.н., ст. преподаватель
(*ПолтНТУ им. Ю. Кондратюка*)
г. Полтава, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Постановка проблемы и анализ последних исследований. В странах бывшего СССР сейчас проходит процесс гармонизации нормативных документов для проектирования бетонных и железобетонных конструкций (ЖБК) с Eurocode 2 [1]. ДМ, которая используется в странах Европы, активно развивалась в Украине [2, 3] и в России [4] благодаря исследованиям диаграммы сжатия бетона $\sigma_c - \varepsilon_c$ с учетом нисходящей ветви.

Существующие на сегодня ДМ, кроме ДМ с ЭКП, имеют эмпирический характер, то есть нуждаются в экспериментальных данных для определения предельных значений деформаций наиболее сжатой фибры бетона ε_{cu1} , которые в нормах [1] определяются по результатам испытаний железобетонных элементов (ЖБЭ), которые работают на изгиб и внецентренное сжатие, а в нормах [2], значения этих деформаций принимают по результатам испытаний бетонных призм.

Такой подход не дает возможность точно учитывать напряженно-деформированное состояние (НДС) ЖБЭ, так как ε_{cu1} зависит от многих факторов (класса бетона, формы сечения, процента армирования и т. п.) и должна определяться аналитически. Поэтому совершенствование инженерных методик расчета несущей способности ЖБЭ при сложных и неоднородных НДС на основе реальных диаграмм работы бетона и арматурных стержней является актуальной задачей.

ДМ с ЭКП имеет существенные преимущества над ДМ с эмпирическим критерием, которые являются основой норм [1, 2 и 3]. Она впервые, на основе экспериментальных данных, предложена в работе [5] и детально аналитически обоснована в работах [6, 7, 8 и др.].

ДМ с ЭКП позволяет учитывать реальные диаграммы работы бетона и арматурных стержней с учетом их зон упрочнения при широком спектре классов бетонов (до $f_{ck,cube} = 120$ МПа и больше), а также аналитически определять параметры НДС нормальных сечений в предельном состоянии с использованием уравнений механики деформированного твердого тела (МДТТ).

Целью работы является определение несущей способности и предельного НДС железобетонных балок, которые работают на изгиб, на основе ДМ ДБН В. 2.6-98: 2009 и ДМ с ЭКП и сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными.

Изложение основного материала. Результатом перераспределения напряжений в сжатой зоне бетона нормального сечения ЖБЭ в предельной стадии является ЭКП: [6, 7, 8]

$$F(\varepsilon_{cu1}) = \max F(\varepsilon_{cm}), \quad (1)$$

выражающий достижение строгого максимума усилием F (M или N) сечения как функции деформации ε_{cm} сжатой грани бетона ЖБЭ (рис. 1, а) [7]. Строгий максимум зависимости «усилие сечения – деформация (кривизна)», очевидно, может быть только при проявлении в сжатой зоне ЖБЭ строгого максимума и наличия нисходящей ветви диаграммы сжатого бетона $\sigma_c - \varepsilon_c$ (рис. 1, в). [7]

Опытные кривые «усилие – деформация», полученные для ЖБЭ с разными НДС, имеют четко выраженный строгий максимум (см. рис. 2, 3 [6]). При учете в ДМ с ЭКП критерия (1) не нужно экспериментально определять ε_{cu1} , так как последняя вычисляется из совокупности уравнений МДТТ и критерия (1) как одна из неизвестных величин задачи прочности нормального сечения [8]. При этом в качестве физической зависимости бетона используется формула (4) [7], которая также принята в нормах [1], которая сравнительно проста и лучше других отражает определение кривых для различных классов бетонов в интервале $f_{ck, cube} = 10...120$ МПа. В ДМ с ЭКП ε_{cu1} оказывается зависимой не только от параметров $E_c, f_{c, prism}, \varepsilon_{c1}$ бетона, но и характера НДС ЖБЭ, количества арматуры A_s и A'_s , формы сечения, характера диаграммы работы арматурной стали, предварительного напряжения и других факторов, ε_{cu1} вообще не является критериальной величиной, определяющей состояние разрушения только бетона, а является одним из параметров предельного состояния нормального сечения ЖБЭ.

По приведенному в работах [7, 8] алгоритму расчета прочности ЖБК и их элементов на основе ДМ с ЭКП были проведены расчеты несущей способности железобетонных балок, работающих на изгиб, и определены

параметры их НДС в предельной стадии, в том числе и ε_{cu1} .

Результаты этих расчетов сравнены с экспериментальными данными (полученными авторами статьи, а также другими исследователями [9, 10, 11]) и методикой норм [2, 3] (рис. 1, 2). Кубиковая прочность бетона на сжатие экспериментальных образцов варьировались в пределах от 20 до 128 МПа. На рис. 3 показано изменение деформаций и напряжений в нормальном сечении балки в предельной стадии, работающей на изгиб, с симметричным армированием, при $f_{ck, cube} = 75$ МПа, в зависимости от изменения процента армирования ρ_f , вычисленных по методике ДМ с ЭКП.

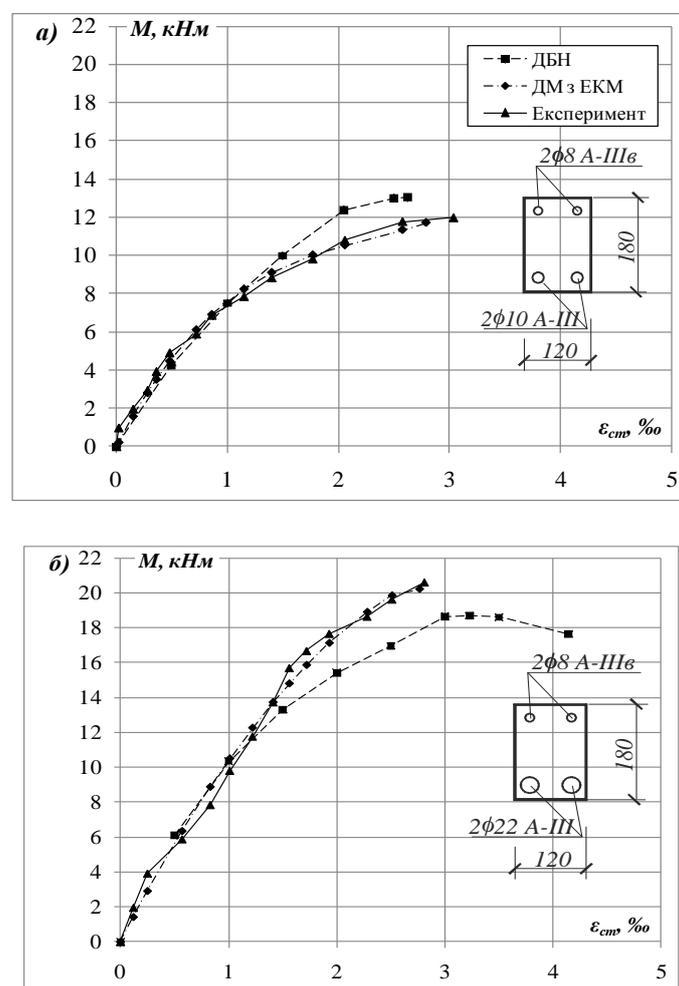


Рис. 1. Теоретические и экспериментальные значения прочности железобетонных шарнирно-опертых балок, длиной $\ell = 1,5$ м ($f_{ck, cube} = 20$ МПа), полученных по методикам норм [2, 3] и ДМ с ЭКП при разных процентах армирования: а) $\rho_f = 1.39\%$; б) $\rho_f = 4.85\%$

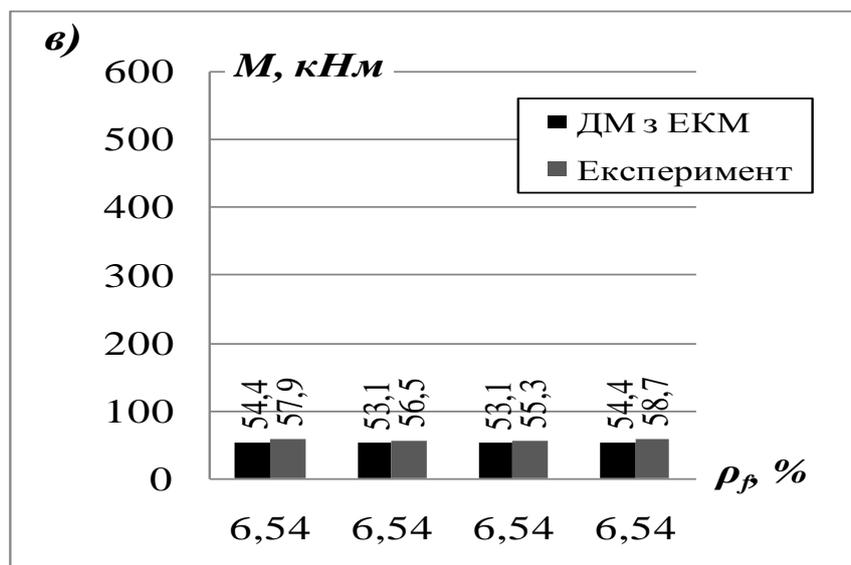
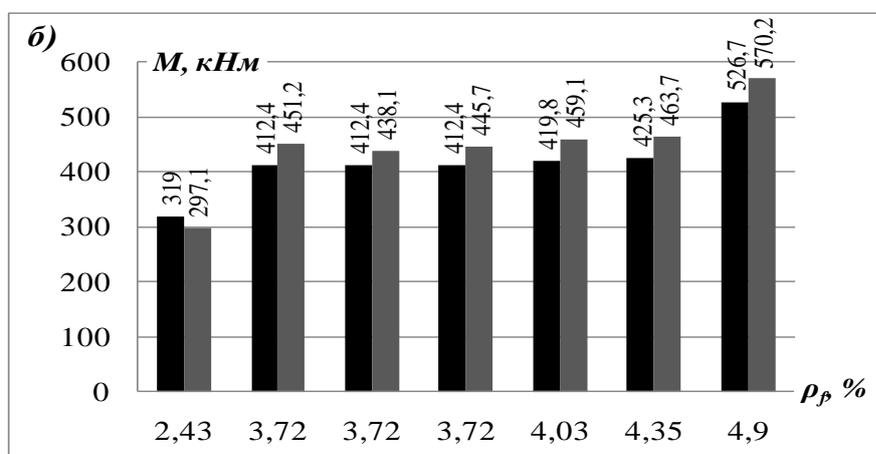
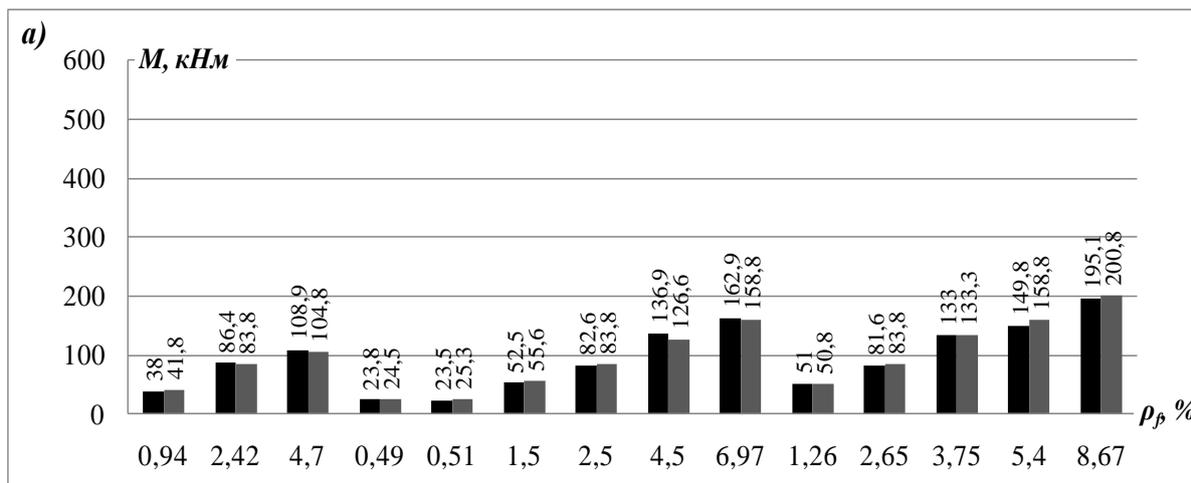


Рис. 2. Сравнение теоретических значений несущей способности железобетонных балок, полученных по методике ДМ с ЭКП, и экспериментальными данными, приведенными в работах: а) [9]; б) [10]; в) [11]

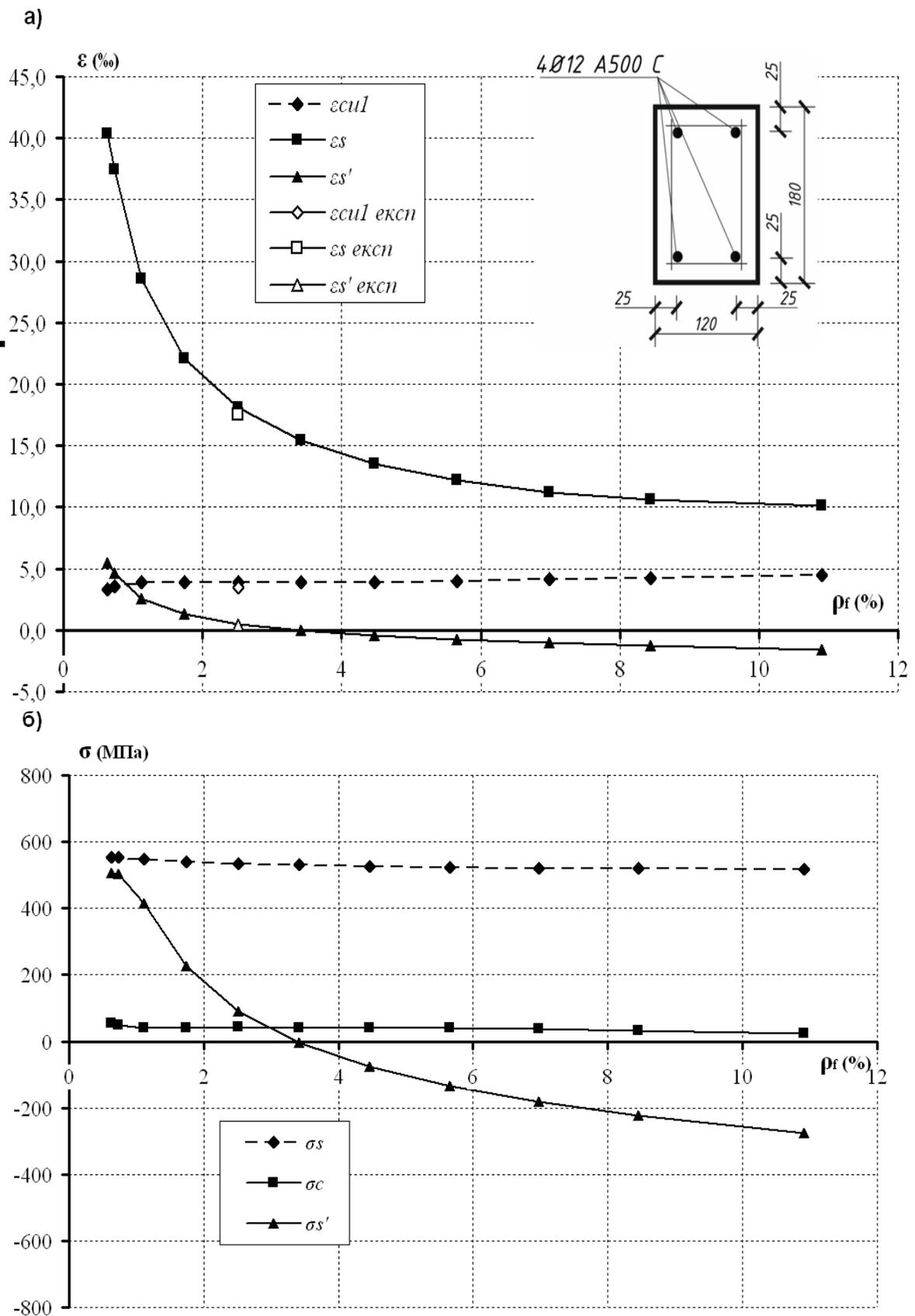


Рис. 3. Предельные деформации и напряжения в бетоне сжатой зоны, а также в растянутой и сжатой арматуре нормального сечения балки

ВЫВОДЫ

1. ЭКП в предельном состоянии отображает характерное свойство псевдопластических материалов типа бетона – проявление строгого максимума и нисходящей ветви диаграммы сжатия бетона.

2. Только ДМ с ЭКП не требует экспериментального определения ε_{cu1} для определения параметров НДС в предельном состоянии. Ее величина определяется перераспределением напряжений по высоте неоднородно напряжённой сжатой зоны нормального сечения ЖБЭ и зависит от многих факторов (класса бетона, формы сечения, процента армирования и т. п.) и не может быть постоянной величиной. Методика на основе ДМ с ЭКП более точная по сравнению с существующими ДМ.

3. Результаты статистического анализа соотношений теоретических расчетов несущей способности железобетонных балок, работающих на изгиб на основе ДМ с ЭКП и экспериментальных данных свидетельствуют о хорошей их сходимости: среднеарифметическое значение – 0,967; среднеарифметическое отклонение – 0,061; коэффициент вариации – 5,015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. EN 1992 – 1.1: General Rules and Rules for buildings. – Brussels: CEN, 2004. – 226 p.

2. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6. 98:2009. - [Чинний від 01.06.2011]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 72 с.

3. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону / К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 168 с.

4. Залесов, А.С. Деформационная расчетная модель железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил / А.С. Залесов, Е.А. Чистяков, И.Ю. Ларичева // Бетон и железобетон. – 1996. – № 5. – С. 16–18.

4. Байков, В.Н. Определение предельного состояния внецентренно сжатых элементов по неупругим зависимостям напряжения – деформации бетона и арматуры / В.Н. Байков, С.В. Горбатов // Бетон и железобетон. – 1985. – № 6. – С. 13–14.

5. Митрофанов, В.П. Практическое применение деформационной модели с экстремальным критерием прочности железобетонных элементов / В.П. Митрофанов // Коммунальное хозяйство городов. Серия: Архитектура и технические науки. Вып. 60. – К.: Техника, 2004. – С. 29 – 48. – 250 пр. ISBN 978-966-2283-13-6.

6. Шкурупій, О.А. Міцність залізобетонних конструкцій та їх елементів на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм / О.А. Шкурупій // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний

збірник наукових праць (будівництво). – Вип. 74: В 2-х кн.: Книга 1. – Київ, ДП НДІБК, 2011. – С. 605–614. – 250 пр. ISBN 978-966-2283-13-6.

7. Шкурупій, О.А. Використання чисельних і оптимізаційних методів для розрахунку міцності нормальних перерізів залізобетонних елементів на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм / О.А. Шкурупій, Д.М. Лазарев // Коммунальное хозяйство городов : Сб. научных трудов. – Вып. 76. – К.: Техника, 2007. – С. 71–79 – 500 пр. ISSN 0869-1231.

8. Новое о прочности железобетона / А.А. Гвоздев, С.А. Дмитриев, С.М. Крылов и др. - М.: Стройиздат, 1977. – 272 с.

9. Weiss, W. J. An Experimental Investigation to Determine the Influence of Size on the Flexural Behavior of High Strength Reinforced Concrete Beams / W. J. Weiss , K. Guler, S.P. Shah // 5-th Int. Symp. on Utilization of HS/HP Concrete 20-24 June 1999, Sandefjord, Norway. – Proceedings, Volume 1. – pp 709 – 718.

10. Rashid, M.A. Effect of Reinforcement Ratios on Flexural Behavior of High Strength Concrete Beams / M.A. Rashid, M.A. Mansur, P. Paramasival // 5-th Int. Symp. on Utilization of HS/HP Concrete 20-24 June 1999, Sandefjord, Norway. – Proceedings, Volume 1. – pp 578-587.