



## ГРАНИЧНИЙ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН І МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК

О. А. Шкурупій<sup>1</sup>, Д. М. Лазарев<sup>2</sup>, О. М. Лазарева<sup>3</sup>

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,*

*Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36601.*

*E-mail: <sup>1</sup>shbm@ukr.net, <sup>2</sup>lazaryev\_dmitriy@mail.ru, <sup>3</sup>lazaryeva\_alyona@mail.ru*

*Отримана 25 січня 2013; прийнята 22 марта 2013.*

**Анотація.** Стаття присвячена аналізу методик визначення напружено-деформованого стану (НДС), міцності та граничної деформації стиснутого бетону ( $\varepsilon_{cul}$ ) залізобетонних балок, що працюють на згин, на основі деформаційних моделей (ДМ) Eurocode 2, ДБН В.2.6-98:2009 та ДМ з екстремальним критерієм міцності (ЕКМ). Застосування ДМ в теорії залізобетону є відповідним кроком уперед, оскільки такий підхід дозволяє використовувати повний набір рівнянь механіки деформівного твердого тіла (МДТТ): фізичні (для бетону й арматури), геометричні та рівняння рівноваги. В результаті ДМ дозволяє точніше визначати межу переармування, міцність, параметри НДС залізобетонних конструкцій (ЗБК) та їх елементів (ЗБЕ), а також враховувати характер повних діаграм роботи бетону й арматури. Існуючі ДМ, окрім ДМ з ЕКМ, потребують експериментального визначення граничної деформації стиснутого бетону  $\varepsilon_{cul}$  для обчислення параметрів НДС у граничній стадії. Відмічено, що  $\varepsilon_{cul}$  визначається перерозподілом напружень по висоті неоднорідно напруженої стиснутої зони нормального перерізу ЗБЕ в граничному стані. Наведено порівняльні розрахунки міцності залізобетонних балок і їх НДС у граничній стадії за вказаними вище ДМ з експериментальними даними при різних класах бетону (аж до  $f_{ck,cube} = 120 \text{ МПа}$  і більше) та процентах армування. Доведено, що результати розрахунків міцності та параметрів НДС у граничній стадії на основі ДМ з ЕКМ більш точно співпадають з експериментальними даними в порівнянні з ДМ Eurocode 2 та ДБН В.2.6-98:2009.

**Ключові слова:** бетон, арматура, міцність, напружено-деформований стан, залізобетонна конструкція, балка, залізобетонний елемент, гранична деформація стиснутого бетону, деформаційна модель, екстремальний критерій.

## ПРЕДЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

А. А. Шкурупий<sup>1</sup>, Д. Н. Лазарев<sup>2</sup>, Е. Н. Лазарева<sup>3</sup>

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,*

*Первомайский проспект, 24, г. Полтава, Украина, 36601.*

*E-mail: <sup>1</sup>shbm@ukr.net, <sup>2</sup>lazaryev\_dmitriy@mail.ru, <sup>3</sup>lazaryeva\_alyona@mail.ru*

*Получена 25 января 2013; принята 22 марта 2013.*

**Аннотация.** Статья посвящена анализу методик определения напряженно-деформированного состояния (НДС), прочности и предельной деформации сжатого бетона ( $\varepsilon_{cul}$ ) железобетонных балок, которые работают на изгиб, на основе деформационных моделей (ДМ) Eurocode 2, ДБН В.2.6-98:2009 и ДМ с экстремальным критерием прочности (ЭКП). Применение ДМ в теории железобетона является соответствующим шагом вперед, поскольку такой подход позволяет использовать полный набор уравнений механики деформированного твердого тела (МДТТ): физические (для бетона и арматуры), геометрические и уравнения равновесия. В результате ДМ позволяет точнее определять предел переармования, прочность, параметры НДС железобетонных конструкций (ЖБК) и их элементов (ЖБЭ), а также

учитывать характер полных диаграмм работы бетона и арматуры. Существующие ДМ, кроме ДМ с ЭКП, нуждаются в экспериментальном определении предельной деформации сжатого бетона  $\varepsilon_{cu1}$  для вычисления параметров НДС в предельной стадии. Отмечено, что  $\varepsilon_{cu1}$  определяется перераспределением напряжений по высоте неоднородно напряженной сжатой зоны нормального сечения ЖБЭ в предельном состоянии. Приведены сравнительные расчеты прочности железобетонных балок и их НДС в предельной стадии по указанным выше ДМ с экспериментальными данными при разных классах бетона (вплоть до  $f_{ck,cube}=120\text{МПа}$  и больше) и процентах армирования. Доказано, что результаты расчетов прочности и параметров НДС в предельной стадии на основе ДМ с ЭКП более точно совпадают с экспериментальными данными по сравнению с ДМ Eurocode 2 и ДБН В.2.6-98:2009.

**Ключевые слова:** бетон, арматура, прочность, напряженно-деформированное состояние, железобетонная конструкция, балка, железобетонный элемент, предельная деформация сжатого бетона, деформационная модель, экстремальный критерий.

## ULTIMATE STRAIN-STRESS BEHAVIOR AND DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS

Olexander Shkurupiy<sup>1</sup>, Dmytro Lazaryev<sup>2</sup>, Olena Lazaryeva<sup>3</sup>

*Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk,  
24, Pervomaiskii Av., Poltava, Ukraine, 36601.*

*E-mail: <sup>1</sup> shbm@ukr.net, <sup>2</sup> lazaryev\_dmitriy@mail.ru, <sup>3</sup> lazaryeva\_aliona@mail.ru*

*Received 25 January 2013; accepted 22 March 2013.*

**Abstract.** The article deals with analysis of methods of determination of the strain-stress behavior (SSB), durability and ultimate deformation of the compressed concrete ( $\varepsilon_{cu1}$ ) of reinforced concrete beams which work on a bend, on the basis of deformation models (DM) of Eurocode 2, ДБН В.2.6-98:2009 and DM with the extreme strength criterion (ESC). Application of DM in the theory of reinforced concrete is a significant step forward, as this theory uses a full set of equations of mechanics of deformed solid state (MDSS): physical equations (for concrete and reinforcement), geometrical and equilibrium equations. As a result DM allows finding more precisely the borders of reinforcement modification, strength, characteristics of SSB of reinforced concrete structures (RCS) and their elements (RCE), to take into account the character of complete diagrams of concrete and reinforcement behavior. The existing DM, except for DM with ESC, need experimental determination of maximum deformation of the compressed concrete  $\varepsilon_{cu1}$  for the design of parameters of SSB in the ultimate behavior. Significantly, that  $\varepsilon_{cu1}$  is determined by the redistribution of stresses on the height of the heterogeneously tense compressed area of normal section of RCE in the ultimate behavior. The comparison of design of durability of reinforced concrete beams and them SSB in the ultimate behavior upon DM indicated higher with experimental data at the different classes of concrete (up to  $f_{ck,cube}=120\text{МПа}$  and anymore) and percents of reinforcement describes in this paper. It is proved that the results of design of durability and parameters of SSB in the ultimate behavior on the basis of DM with ESC more exactly coincide with experimental data as compared to DM of Eurocode 2 and ДБН В.2.6-98:2009.

**Keywords:** concrete, reinforcement, durability, strain-stress behavior, reinforced concrete structure, beam, reinforced concrete element, ultimate deformation of the compressed concrete, deformation model, extreme criterion.

### Постановка проблеми

Зараз у країнах колишнього СРСР проходить процес гармонізації нормативних документів для проектування бетонних і залізобетонних конструкцій та їх елементів з Eurocode 2 [1]. ДМ, яка давно використовувалась у країнах Європи, активно розвивалась в Україні [2, 3] і в Росії [4]

завдяки дослідженням діаграми стиску бетону  $\sigma_c - \varepsilon_c$  з урахуванням низхідної гілки. Існуючі на сьогодні ДМ, окрім ДМ з ЕКМ, в своїй основі мають емпіричний характер, тобто потребують експериментальних даних для визначення граничних значень деформацій найбільш стиснутої фібри бетону  $\varepsilon_{cu1}$ , які в нормах [1] визначаються

із випробувань ЗБЕ, що працюють на згин та по-зацентровий стиск, а в нормах [2] значення цих деформацій приймають із випробування бетонних призм. Такий підхід не дає можливості точно враховувати НДС ЗБЕ, так як  $\varepsilon_{cu1}$  є параметром, що залежить від багатьох факторів (класу бетону, форми перерізу, процента армування тощо) і не може бути постійною величиною. Тому вдосконалення інженерних методик розрахунку міцності бетонних та ЗБЕ при складних і неоднорідних НДС на основі непружних дилатаційних моделей деформування бетону та реальних діаграм роботи бетону та арматурних сталей є актуальною задачею.

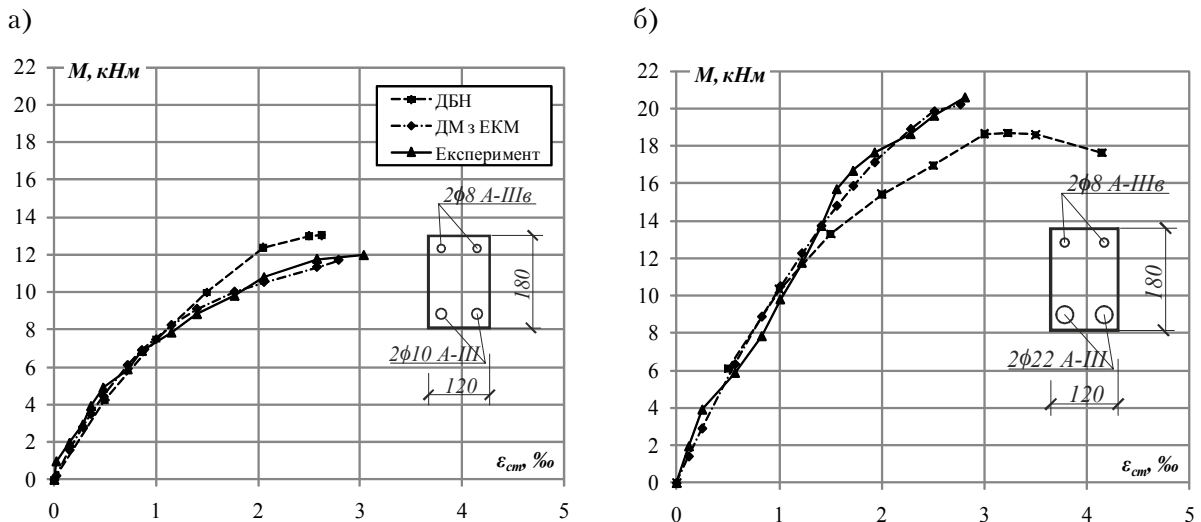
**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Застосування ДМ є певним кроком уперед, оскільки вона використовує повний набір рівнянь МДГТ: фізичні для бетону й арматури, геометричні – закон плоских перерізів, статичні – рівняння рівноваги та дозволяє точніше знаходити межу переармування, міцність переармуваних ЗБЕ, враховувати характер діаграми розтягу арматури  $\sigma_s - \varepsilon_s$  й інші фактори. Але, як відмічалось вище, існуючі ДМ потребують даних експериментальних досліджень. ДМ з ЕКМ має суттєві переваги над ДМ з емпіричним кри-

терієм, що є основою норм [1, 2 і 3]. Вона вперше, на основі експериментальних даних, запропонована в роботі [5] та детально аналітично обґрунтована й наведена в працях [6, 7, 8 та ін.]. ДМ з ЕКМ дозволяє враховувати реальні діаграми роботи бетону та арматурних сталей з урахуванням їх зон зміцнення при широкому спектрі класів міцності бетону на стиск (аж до  $f_{ck,cube} = 120 \text{ МПа}$  і більше), а також аналітично визначати параметри НДС нормальних перерізів, у тому числі і  $\varepsilon_{cu1}$  в граничному стані. Тому розроблення методики на базі ДМ, яка б давала змогу аналітично одержати параметри НДС в нормальному перерізі ЗБК та їх елементів, у тому числі й  $\varepsilon_{cu1}$ , при різних видах завантаження є актуальним завданням. Такою моделлю є ДМ з ЕКМ.

**Мета роботи**

Визначення напружено-деформованого стану, міцності та граничної деформації стиснутого бетону ( $\varepsilon_{cu1}$ ) залізобетонних балок, що працюють на згин, на основі деформаційних моделей Eurocode 2, ДБН В.2.6-98: 2009 та ДМ з екстремальним критерієм та порівняння результатів цих розрахунків із експериментальними даними.



**Рисунок 1.** Теоретичні та експериментальні значення міцності залізобетонних шарнірно опертих балок, довжиною  $\ell = 1,5 \text{ м}$  ( $f_{ck,cube} = 20 \text{ МПа}$ ), одержаних за методиками норм [2, 3] та ДМ з ЕКМ при різних процентах армування: а)  $\rho_f = 1,39\%$ ; б)  $\rho_f = 4,85\%$ .

### Виклад основного матеріалу

Результатом перерозподілу напружень  $\sigma_c$  в стиснутій зоні бетону ЗБЕ в граничній стадії є ЕКМ нормального перерізу ЗБЕ [6, 7, 8]

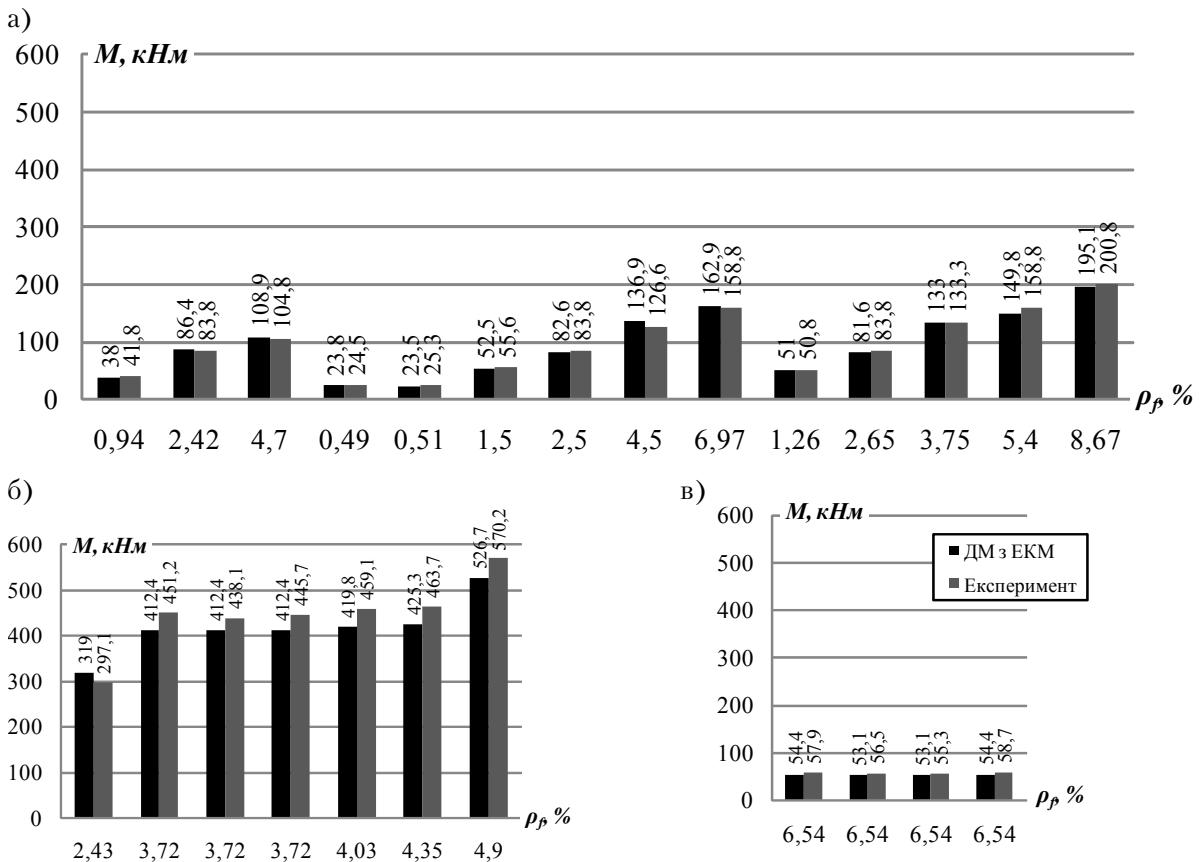
$$F(\varepsilon_{cul}) = \max F(\varepsilon_{cm}), \quad (1)$$

що виражає досягнення строгого максимуму зусиллям  $F$  ( $M$  або  $N$ ) перерізу як функцією деформації  $\varepsilon_{cm}$  стиснутої грані бетону ЗБЕ (рис. 1г [7]). Строгий максимум залежності «зусилля перерізу – деформація (кривизна)», очевидно, може бути тільки при проявленні в стиснутій зоні ЗБЕ строгого максимуму та наявності низхідної гілки діаграми стиснутого бетону  $\sigma_c - \varepsilon_c$  (рис. 1в [7]). Дослідні криві «зусилля – деформація», одержані при жорсткому завантаженні ЗБЕ з різним НДС, мають чітко виражений строгий максимум (рис. 2, 3 [6]).

При врахуванні в ДМ критерію (1) утворюється нова, більш довершена ДМ з ЕКМ, для якої не потрібно експериментально визначати  $\varepsilon_{cul}$ , тому що остання обчислюється з сукупності

рівнянь МДТТ і критерію (1) як одна з невідомих величин задачі міцності нормального перерізу [8]. При цьому як фізична залежність бетону використовується формула (4) [7], що наведена в нормах [1], котра порівняно проста та краще за інші відображає окреслення кривих  $\sigma_c - \varepsilon_c$  для бетонів різного класу міцності на інтервалі  $f_{ck, cube} = 10 \dots 120 \text{ МПа}$ . У ДМ з ЕКМ гранична деформація  $\varepsilon_{cul}$  тиснутої грані бетону ЗБЕ виявляється залежною не тільки від параметрів  $E_c, f_{c, prism}, \varepsilon_{c1}$  бетону, але й характеру НДС ЗБЕ, кількості арматури  $A_s$  та  $A_s'$ , форми перерізу, характеру діаграми роботи арматурної сталі, попереднього напруження та інших факторів. Тому  $\varepsilon_{cul}$  взагалі не є критеріальною величиною, яка визначає стан руйнування тільки бетону, а є одним із параметрів граничного стану нормального перерізу ЗБЕ.

За наведеним в роботах [7, 8, 12] алгоритмом розрахунку міцності ЗБК та їх елементів на основі ДМ з ЕКМ були проведені розрахунки міцності залізобетонних балок, що працюють на



**Рисунок 2.** Порівняння теоретичних значень міцності залізобетонних балок, одержаних за методикою ДМ з ЕКМ та експериментальними даними, наведеними в роботах: а) [9]; б) [10]; в) [11].

згин, та визначені параметри їх НДС у граничній стадії, в тому числі і  $\varepsilon_{cul}$ . Результати цих розрахунків порівняні з експериментальними даними (одержаними авторами статті, а також іншими дослідниками [9, 10, 11]) та методикою норм [2, 3] (рис. 1, 2). Кубикова міцність бетону на стиск експериментальних зразків варіювалась в межах від 20 до 128 МПа.

На рисунку 3 наведено зміну напружень у граничній стадії в бетоні стиснутої зони та в розтягнутій арматурі ЗБЕ, що працює на згин з одним армуванням (А500С) при постійному класі бетону С50/60 залежно від зміни процента армування  $\rho_f$ , обчислених за методикою [1, 2] та ДМ з ЕКМ.

### Висновки

1. ЕКМ відображає в граничному стані характерну властивість псевдопластичних матеріалів типу бетону, гірських порід і їм подіб-

них – прояв строгого максимуму і низхідної гілки діаграми стиснення бетону. Як видно із рисунку 1, ДМ з ЕКМ точніша порівняно з іншими ДМ.

2. Результати статистичного аналізу співвідношень теоретичних розрахунків за ДМ з ЕКМ та експериментальних даних свідчать про хорошу їх збіжність: середньоарифметичне значення – 0,967; середньоквадратичне відхилення – 0,061; коефіцієнт варіації – 5,015 %.
3. Існуючі ДМ, окрім ДМ з ЕКМ, потребують експериментального визначення граничної деформації стиснутого бетону  $\varepsilon_{cul}$  для обчислення параметрів НДС у граничній стадії. Визначається  $\varepsilon_{cul}$  перерозподілом напружень по висоті неоднорідно напруженої стиснутої зони нормального перерізу ЗБЕ в граничному стані та залежить від багатьох факторів (класу бетону, форми перерізу, процента армування тощо) і не може бути постійною величиною.

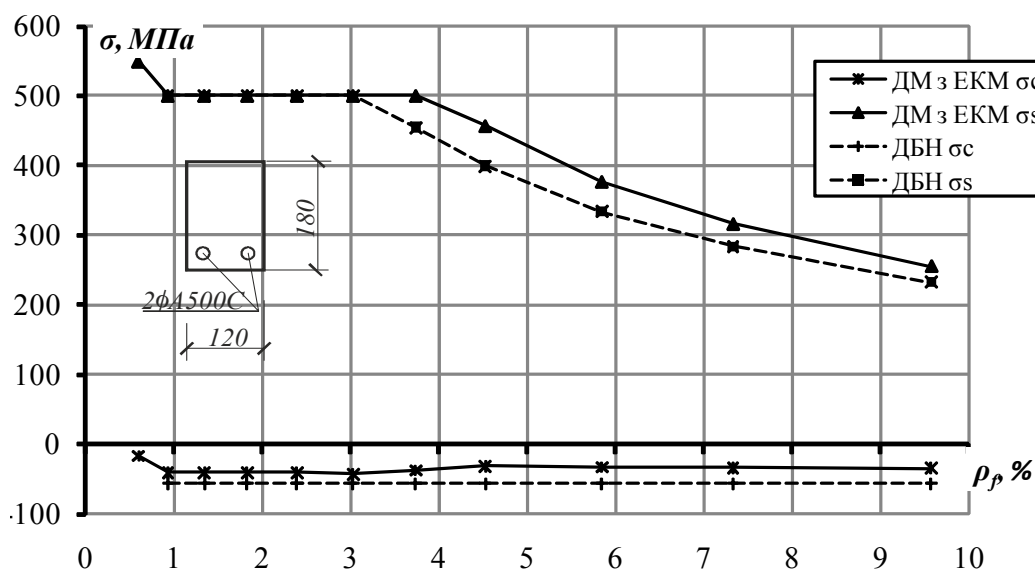


Рисунок 3. Напруження в бетоні стиснутої зони  $\sigma_c$  та в розтягнутій арматурі  $\sigma_s$ .

### Література

1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. EN 1992 – 1.1: General Rules and Rules for buildings [Текст]. – Brussels : CEN, 2004. – 226 p.
2. ДБН В.2.6.98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – На заміну СНиП 2.03.01-84\* ;

### References

1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. EN 1992 – 1.1: General Rules and Rules for buildings. Brussels: CEN, 2004. 226 p.
2. DBN B.2.6.98:2009. Structures of buildings and erections. Concrete and reinforced concrete structures. Fundamental principles. Kyiv: Minregionbud Ukraine, 2011. 71 p. (in Ukrainian)

- чинні від 2011-06-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
3. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування [Текст]. – Введено вперше; чинний з 2011-06-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
  4. Залесов, А. С. Деформационная расчётная модель железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил [Текст] / А. С. Залесов, Е. А. Чистяков, И. Ю. Ларичева // Бетон и железобетон. – 1996. – № 5. – С. 16–18. – ISSN 0005-9889.
  5. Байков, В. Н. Определение предельного состояния внецентренно сжатых элементов по неупругим зависимостям напряжения – деформации бетона и арматуры [Текст] / В. Н. Байков, С. В. Горбатов // Бетон и железобетон. – 1985. – № 6. – С. 13–14.
  6. Митрофанов, В. П. Практическое применение деформационной модели с экстремальным критерием прочности железобетонных элементов [Текст] / В. П. Митрофанов // Коммунальное хозяйство городов. Серия: Архитектура и технические науки. – К. : Техника, 2004. – Вып. 60. – С. 29–48.
  7. Шкурупій, О. А. Міцність залізобетонних конструкцій та їх елементів на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм [Текст] / О. А. Шкурупій // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону : зб. наук. пр. у 2-х кн. / ДП «ДНДІ буд. конструкцій». – Київ : ДП НДІБК, 2011. – С. 605–614. – (Будівельні конструкції ; Вип. 74; Кн. 1). – ISBN 978-966-2283-13-6.
  8. Шкурупій, О. А. Використання чисельних і оптимізаційних методів для розрахунку міцності нормальних перерізів залізобетонних елементів на основі деформаційної моделі з екстремальним критерієм [Текст] / О. А. Шкурупій, Д. М. Лазарев // Коммунальное хозяйство городов : Сб. научных трудов. – К. : Техника, 2007. – Вып. 76. – С. 71–79. – ISSN 0869-1231.
  9. Новое о прочности железобетона [Текст] / А. А. Гвоздев, С. А. Дмитриев, С. М. Крылов и др. – М. : Стройиздат, 1977. – 272 с.
  10. Weiss, W. J. An Experimental Investigation to Determine the Influence of Size on the Flexural Behavior of High Strength Reinforced Concrete Beams [Текст] / 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. – Sandefjord, 1999. – P. 709–718.
  11. Rashid, M. A. Effect of Reinforcement Ratios on Flexural Behavior of High Strength Concrete Beams [Текст] / 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. – Sandefjord, 1999. – P. 578–587.
  12. Шкурупій, О. А. Расчет несущей способности неразрезных железобетонных балок с использованием деформационной модели с экстремальным
  3. DSTU B B.2.6-156:2010. Structures of buildings and erections. Concrete and reinforced concrete structures with heavy weight structural concrete. Design rules. Kyiv: Minregionbud Ukraine, 2011. 118 p. (in Ukrainian)
  4. Zalesov, A. S.; Chistiakov, E. A.; Laricheva, I. Yu. Deformation design model of reinforced concrete elements under the action of flexion moments and axial force. In: *Concrete and reinforced concrete*, 1996, Number 5, p. 16–18. ISSN 0005-9889. (in Russian)
  5. Baikov, V. N.; Gorbatov, S. V. Determination of limit state of beam columns based on rigid effort dependence-displacement of concrete and reinforcement. In: *Concrete and reinforced concrete*, 1985, Number 6, p. 13–14. (in Russian)
  6. Mitrofanov, V. P. Use in practice of deformation model with extreme strength criterion of reinforced concrete elements. In: *City municipal engineering Series: Architecture and engineering sciences*. Kyiv: Technics, 2004. Issue 60, p. 29–48. (in Russian)
  7. Shkurupiy, O. A. Strength of reinforced concrete constructions and their elements based on deformation model with extreme criterion. In: *Scientific and technical problem of present-day reinforced concrete*. In: *Edited volume in two books*. Kyiv: DP NDIBK, 2011, p. 605–614. (Building constructions; Issue 74; bk. 1). ISBN 978-966-2283-13-6. (in Ukrainian)
  8. Shkurupiy, O. A.; Lazaryev, D. M. The usage of numeral and optimization methods of power analysis of reasonable overcuts of reinforced concrete elements based on deformation model with extreme criterion. In: *Edited volume «City municipal engineering»*. Kyiv: Technics, 2007. Issue 76, p. 71–79. ISSN 0869-1231. (in Ukrainian)
  9. Gvozdev, A. A.; Dmitriev, S. A.; Krylov, S. M. et al. New about reinforced concrete strength. Moscow: Stroizdat, 1977. 272 p. (in Russian)
  10. Weiss, W. J.; Guler, K.; Shah, S. P. An Experimental Investigation to Determine the Influence of Size on the Flexural Behavior of High Strength Reinforced Concrete Beams. In: *5-th Int. Symp. on Utilization of HS/HP Concrete 20–24 June 1999, Sandefjord, Norway : Proceedings, Volume 1*. Sandefjord, 1999, p. 709–718.
  11. Rashid, M. A.; Mansur, M. A.; Paramasival, P. Effect of Reinforcement Ratios on Flexural Behavior of High Strength Concrete Beams. In: *5-th Int. Symp. on Utilization of HS/HP Concrete 20–24 June 1999, Sandefjord, Norway: Proceedings. Volume 1*. Sandefjord, 1999, p. 578–587.
  12. Shkurupiy, O. A.; Lazaryeva, E. N. Analysis of load-carrying ability of continuous reinforced concrete beams with the use of deformation model with extreme criterion. In: *Engineering sciences: theoretic and applied aspects: materials of International correspondence research and practice conference / Edited by Ya. A. Polonskii*. Novosibirsk: Publishing house «Siberian association consultants» 2012, p. 143–153. – ISBN 978-5-4379-0060-4. (in Russian)

критерием прочности [Текст] / А. А. Шкурупий, Е. Н. Лазарева // Технические науки: теоретические и прикладные аспекты : материалы международной заочной научно-практической конференции / Под ред. Я. А. Полонского. – Новосибирск : Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. – С. 143–153. – ISBN 978-5-4379-0060-4.

**Шкурупий Олександр Анатолійович** – к.т.н., доцент; завідувач кафедри будівельної механіки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Член-кореспондент Академії будівництва України. Наукові інтереси: розробка методів розрахунку міцності, жорсткості, стійкості, залізобетонних конструкцій та їх елементів на основі деформаційної моделі.

**Лазарев Дмитро Миколайович** – к.т.н., старший викладач кафедри будівельної механіки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: розробка методів розрахунку міцності, жорсткості, стійкості, залізобетонних конструкцій та їх елементів на основі деформаційної моделі.

**Лазарева Олена Миколаївна** – аспірант кафедри будівельної механіки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: розробка методів розрахунку міцності, жорсткості, стійкості, залізобетонних конструкцій та їх елементів на основі деформаційної моделі.

**Шкурупий Александр Анатольевич** – к.т.н., доцент; заведующий кафедрой строительной механики Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Член-корреспондент Академии строительства Украины. Научные интересы: разработка методов расчета прочности, жесткости, устойчивости, железобетонных конструкций и их элементов на основе деформационной модели.

**Лазарев Дмитрий Николаевич** – к.т.н., старший преподаватель кафедры строительной механики Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: разработка методов расчета прочности, жесткости, устойчивости, железобетонных конструкций и их элементов на основе деформационной модели.

**Лазарева Елена Николаевна** – аспирант кафедры строительной механики Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: разработка методов расчета прочности, жесткости, устойчивости, железобетонных конструкций и их элементов на основе деформационной модели.

**Olexander Shkurupiy** – PhD (Engineering), Associated Professor; Head of Structural Mechanics Department of the Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. Corresponding member of Ukrainian Building Academy. Scientific interests: development of estimation methods of solidity, hardness, firmness of reinforced concrete constructions and their elements on the basis of deformation model.

**Dmytro Lazaryev** – PhD (Engineering), assistant professor of Structural Mechanics Department of the Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. Scientific interests: development of estimation methods of solidity, hardness, firmness of reinforced concrete constructions and their elements on the basis of deformation model.

**Olena Lazaryeva** – postgraduate student of Structural Mechanics Department of the Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk. Scientific interests: development of estimation methods of solidity, hardness, firmness of reinforced concrete constructions and their elements on the basis of deformation model.

