

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)

УДК 624.012.35:620.173/174

ЗАГАЛЬНІ ОСНОВИ МЕХАНІКИ ДЕФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І КОНСТРУКЦІЙ

Д-р техн. наук В. М. Ромашко

GENERAL FUNDAMENTALS OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND STRUCTURES DEFORMATION MECHANICS

D. Sc. (Tech.) V. M. Romashko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.191.2020.217288>

***Анотація.** У статті викладено критичний аналіз розвитку загальної теорії та моделей опору залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам. Оцінено їх взаємозв'язок з визначальними положеннями механіки деформування залізобетонних елементів і конструкцій. Загальні положення механіки деформування залізобетонних елементів і конструкцій пропонується розвивати на основі універсальної деформаційно-силової моделі. Вказано головну перевагу деформаційно-силової моделі, пов'язану з розширенням загальновідомої системи статичних, геометричних і фізичних співвідношень до рівня статично визначеної. Підкреслена одна з основних особливостей деформаційно-силової моделі, яка дозволяє досить просто інтегрувати технічну теорію зчеплення арматури з бетоном в загальну теорію деформування залізобетону.*

Ефективність використання деформаційно-силової моделі опору залізобетону силовим впливам оцінено статистичним порівнянням теоретичних розрахунків з результатами експериментальних досліджень залізобетонних елементів, випробуваних різними авторами.

***Ключові слова:** залізобетон, елементи, деформування, модель, механіка, граничні стани, розрахунок.*

***Abstract.** This article presents a critical development analysis of the general deformation theory and models of reinforced concrete elements and structures resistance to force effects. Their relationship with the defining provisions of the mechanics of reinforced concrete elements and structures deformation is estimated. The main disadvantages of the considered models are established. General provisions of the mechanics of reinforced concrete elements and structures deformation are proposed to be developed on the basis of a universal deformation-force model. It is noted that the latter is devoid of most of the shortcomings characteristic to other models. The main advantage of the deformation-force model is indicated, associated with the expansion of the well-known system of static, geometric and physical relationships to the level of statically definable. It becomes especially noticeable when calculating reinforced concrete elements and structures for deflections and crack resistance. One of the main features of the deformation-force model is emphasized, which makes it possible to quite simply «embed» or integrate the technical theory of reinforcement to concrete adhesion into the general theory of reinforced concrete deformation. Through the averaged design section and average deformations of materials in the block between*

adjacent cracks, all parameters of the normal cracks formation and opening in the deformation-force model are directly related to the parameters of reinforcement to concrete adhesion.

The effectiveness of using the deformation-force model of reinforced concrete to force effects resistance was evaluated by a statistical comparison of theoretical calculations with the reinforced concrete elements experimental studies results tested by different authors. Similar comparisons were made for the methods of the current standards. It was confirmed that the priority in the accuracy of assessing the reinforced concrete elements stress-strain state parameters belongs to the calculation method, which is based on the deformation-force model of reinforced concrete resistance.

Keywords: *reinforced concrete, elements, deformation, model, mechanics, limit states, calculation.*

Вступ. Загалом теорія залізобетону являє собою певну сукупність положень і тверджень про закономірності деформування бетону й арматури та їх спільну взаємодію. І як будь-яка справжня наукова теорія, вона має одночасно описувати властивості зазначених матеріалів, пояснювати цілісну картину закономірностей (механіку) деформування залізобетонних елементів і конструкцій, забезпечуючи можливість визначення їх дійсного напружено-деформованого стану на будь-якій стадії деформування. Тому її розвиток завжди зводився до удосконалення складових структурних елементів:

- передумов у вигляді фундаментальних понять і принципів, законів та аксіом, припущень і гіпотез, характерних для залізобетону;

- ідеалізованого об'єкта у вигляді абстрактних моделей визначальних ознак, властивостей та взаємозв'язків залізобетону як твердого тіла;

- логіки у вигляді сукупності певних співвідношень (правил, способів і засобів), націлених на прояснення та розвиток структури знань про залізобетон;

- висновків у вигляді сукупності законів і тверджень, методів і методик, здатних спрогнозувати стан залізобетонних елементів і конструкцій на будь-якій стадії їх деформування.

Ступінь взаємної відповідності та узгодженості зазначених структурних елементів продовжує і надалі впливати на

повноту та ефективність розроблюваних методів розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На ранніх етапах свого розвитку залізобетон моделювали у вигляді абсолютно твердого (пружного) тіла. Його стан описували системою статичних, геометричних і фізичних співвідношень, що отримали назву відповідних рівнянь механіки твердого тіла. В основу цих співвідношень були покладені найпростіші припущення та гіпотези, властиві лише для такого тіла. Це дозволило сформуувати методіку розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій за «допустимими напруженнями». Однак згодом було встановлено, що бетон не варто розглядати як пружний матеріал.

На другому етапі розвитку теорії залізобетону його уже стали моделювати з урахуванням пружно-пластичних властивостей бетону. Це потребувало певного коригування, перш за все, фізичних співвідношень механіки твердого тіла. Саме з використанням нелінійних діаграм деформування бетону почали закладатися основи механіки деформованого твердого тіла. Тому в кінці 30-х років ХХ століття була сформована та запроваджена у нормативні документи багатьох країн світу нова методіка розрахунку перерізів залізобетонних конструкцій за «руйнуючими зусиллями» [1]. Відтоді розвиток загальної теорії залізобетону розділився на два окремих напрями.

У більшості країн світу її розвиток пішов за так званою «деформаційною» моделлю, тоді як в колишньому СРСР і деяких інших країнах було прийнято «силову» модель деформування залізобетону. За останньою вважалось, що руйнування конструкцій в граничній стадії відбувається внаслідок утворення так званих «шарнірів пластичності» [2]. Таке спрощення дозволило суттєво спростити основні розрахунки [3, 4], однак використання моделі «пластичного шарніра» віддаляло теорію залізобетону від методів будівельної механіки. Це призвело до втрати методологічної єдності розрахунків залізобетонних елементів і конструкцій за граничними станами.

До початку ХХІ століття всім стало зрозуміло, що «силова» модель повністю вичерпала себе. Відтоді теорія залізобетону загалом і метод розрахунку перерізів конструкцій за граничними станами зокрема були зорієнтовані на «деформаційну» модель. З розвитком комп'ютерних технологій ця модель не тільки остаточно закріпилася в країнах Заходу, але й набула визнання в країнах Східної Європи та колишнього СРСР. Однак сьогодні складається враження, що і «деформаційна» модель вже потребує суттєвого удосконалення, оскільки часто «ідеалізовані об'єкти» (абстрактні моделі залізобетону) доволі слабо пов'язуються з «логікою» його досліджень, а тому:

- технічна теорія зчеплення арматури з бетоном вкрай слабо інтегрована в загальну теорію залізобетону;
- питання методологічної (діалектичної) єдності розрахунків конструкцій за граничними станами практично так і не вирішено;
- внутрішня статична невизначеність залізобетонних елементів навіть у розрахунках за несучою здатністю у більшості випадків розкривається за допомогою численних ітерацій;
- у розрахунках за тріщиностійкістю та прогинами виникає необхідність не

тільки в численних ітераційних операціях, але й у використанні різного роду емпіричних параметрів, залежностей та коефіцієнтів;

- відсутність універсальних методик розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій, які могли б реалізовуватися як програмно, так і за допомогою інженерних експрес-методів, веде не тільки до втрати інженерної осяжності самих результатів розрахунку, але й фізичної сутності процесів деформування.

Мета та завдання досліджень. Дані дослідження спрямовані на формування узагальненої моделі та механіки деформування залізобетону, в основу яких закладено:

- визначальні гіпотези та передумови деформаційних і силових моделей;
- ідеалізований об'єкт дослідження у вигляді деякої абстрактної моделі деформованого твердого тіла, наділеного пружно-пластичними властивостями;
- достатньо обґрунтовану логіку досліджень у вигляді загально визнаної «розширеної» системи рівнянь механіки деформованого твердого тіла (МДТТ);
- можливість розрахунку або прогнозування стану залізобетонних елементів і конструкцій на будь-якій стадії їх деформування.

Побудова універсальної теорії залізобетону саме на таких принципах одночасно сприятиме вирішенню завдань, пов'язаних з «логікою» досліджень.

Основна частина досліджень. Сучасний аналіз стану наукових досліджень в галузі залізобетону дозволяє стверджувати, що одним з найбільш вдалих ідеалізованих об'єктів загальної теорії його деформування можна вважати модель деформованого твердого тіла. Така модель дала змогу не тільки відтворювати пружно-пластичні властивості самого залізобетону, але й пропонувати їх варіантні рішення у вигляді силових, деформаційних та удосконалених деформаційно-силових моделей [5].

Самі ж варіантні рішення або шляхи розвитку загальної теорії залізобетону значною мірою залежать від основних вихідних гіпотез та передумов. І в цьому визначальну роль необхідно відвести гіпотезам граничної рівноваги, плоских перерізів і «нелінійності» жорсткості [6].

В деформаційно-силовій моделі (ДСМ) гіпотеза граничної рівноваги не тільки закладена в основу статичних співвідношень деформування залізобетону, але й безпосередньо виступає загальним критерієм вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів і конструкцій [7].

Не менш важливою для загальної теорії залізобетону залишається гіпотеза плоских перерізів. Після утворення тріщин її справедливість в окремих перерізах залізобетонного елемента дійсно порушується [8-10]. Однак свого часу В. Я. Бачинський [11, 12] обґрунтував,

чому загальний напружено-деформований стан (НДС) залізобетонного елемента не можна оцінювати за деформаціями та напруженнями матеріалів, вимірними лише в окремому його перерізі. Слід розглядати навіть не середній, а «осереднений» переріз елемента в блоці між тріщинами (рис. 1). А для нього гіпотеза плоских перерізів загалом залишається справедливою протягом всього процесу деформування елемента. Тому не дивно, що переважна більшість альтернативних рішень [8, 10, 13] теж зводиться до «прихованого» використання гіпотези плоских перерізів, а не вибудовується за «депланацією» нормальних перерізів.

Та все ж вирішальну роль у формуванні узагальненої теорії залізобетону слід відвести гіпотезі «нелінійності» жорсткості [5]

$$M / (1/r) = A - B \cdot (1/r) / (1/r_u) - C \cdot M / M_u, \quad (1)$$

де A, B, C – параметри, що відображають міцнісні та деформаційні характеристики перерізу елемента, безпосередньо пов'язані з його початковою жорсткістю (D_o),

граничною кривою ($1/r_u$) та несучою здатністю (M_u).

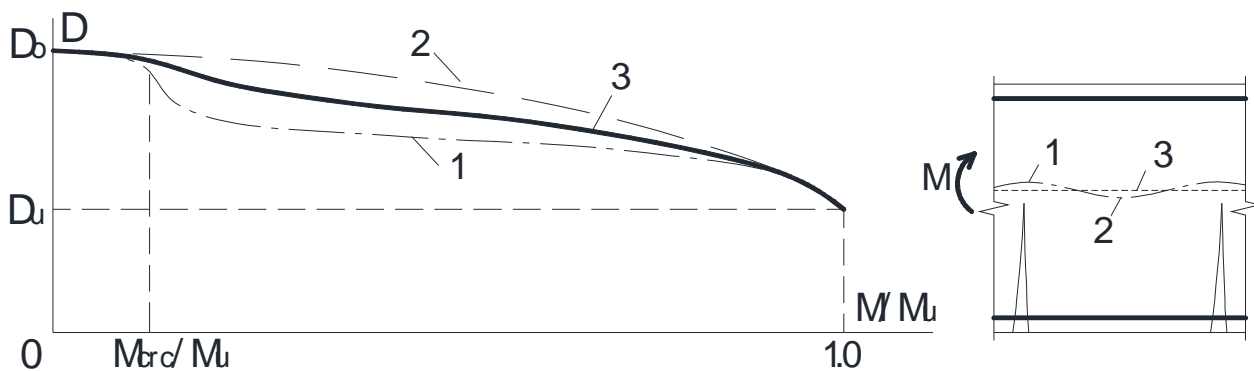


Рис. 1. Діаграми жорсткості згинального залізобетонного елемента в перерізі:
1 – з тріщиною; 2 – між тріщинами; 3 – осередненому

Згідно з цією гіпотезою узагальнена діаграма стану залізобетонного елемента набуває універсального вигляду

$$M = \frac{D_o \cdot 1/r - M_u \cdot ((1/r)/(1/r_u))^2}{1 + (D_o / M_u - 2/(1/r_u)) \cdot (1/r)} \quad (2)$$

та за певних вихідних умов трансформується у загальновизнану діаграму деформування бетону

$$\sigma_c = f_{ck} \cdot \frac{E_{co} \cdot \varepsilon_c / (E_{cu} \cdot \varepsilon_{cu}) - (\varepsilon_c / \varepsilon_{cu})^2}{1 + (E_{co} / E_{cu} - 2) \cdot (\varepsilon_c / \varepsilon_{cu})}, \quad (3)$$

де f_{ck} – характеристичне значення міцності бетону на стиск; E_{co} – початкове значення модуля деформацій бетону; E_{cu} – граничне значення модуля деформацій бетону; ε_{cu} – значення граничних деформацій стиснутого бетону.

Саме завдяки вищевказаному перетворенню діаграм $M - 1/r$ та $\sigma_c - \varepsilon_c$ забезпечується методологічна

єдність розрахунків залізобетонних елементів і конструкцій за несучою здатністю, тріщиностійкістю і прогинами. Більш того, універсальна діаграма стану залізобетонного елемента (2) виступає тією ланкою, що не тільки зв'язує, але й доповнює загальновизнану систему найпростіших співвідношень МДТТ [5, 6]:

$$\left. \begin{aligned} & \bullet \text{ статичних } M = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s), \quad N = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s); \\ & \bullet \text{ геометричних } 1/r = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s); \\ & \bullet \text{ фізичних } \sigma_c = f(\varepsilon_c), \sigma_{ct} = f(\varepsilon_{ct}), \sigma_s = f(\varepsilon_s). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Загалом система рівнянь (4) доповнюється не тільки діаграмою стану елемента (2), але й функцією граничних деформацій стиснутого бетону ε_{cu} [5]. Її отримано з тієї самої діаграми (2) завдяки застосуванню екстремального критерію Ферма $dM / d(1/r) = 0$. Внаслідок цього «логіка» досліджень залізобетонних елементів за ДСМ дозволяє розширити згадану систему рівнянь МДТТ (4) аж до рівня статично визначеної. Це дає змогу суттєво скоротити кількість ітерацій у розрахунках і навіть позбутися їх, що сприяє розробленню інженерних експрес-методів розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій.

Переваги ДСМ з розширеною системою співвідношень (4) особливо помітні у розрахунках за прогинами і тріщиностійкістю [5-7]. Згідно з існуючими методами [8, 14-16] їх розрахунок зводиться до визначення НДС залізобетонного елемента окремо у перерізах з тріщинами та у середніх перерізах між ними. Згодом обчислюються осереднені параметри та характеристики НДС самого елемента. Характерною ж відмінністю деформаційно-силової моделі є те, що вона одразу дозволяє безпосередньо визначити осереднену кривину залізобетонного елемента на будь-якій стадії його деформування

$$\frac{1}{r} = \frac{1/r_u}{2M_u} \left[\left(1 - \frac{M}{M_u}\right) \frac{D_o}{r_u} + 2M - \sqrt{\left(\left(1 - \frac{M}{M_u}\right) \frac{D_o}{r_u} + 2M\right)^2 - 4M \cdot M_u} \right] \quad (5)$$

та за гіпотезою плоских перерізів пов'язати її безпосередньо з відносними деформаціями матеріалів в осередненому перерізі блока між тріщинами

$$1/r = (\varepsilon_{c2} + \varepsilon_{s1})/d, \quad (6)$$

де ε_{c2} – поточні значення відносних деформацій бетону найбільш стиснутої грані; ε_{s1} – поточні значення відносних деформацій видовження арматури; d – робоча висота перерізу елемента прямокутного профілю.

Ще однією особливістю деформаційно-силової моделі є те, що вона дала змогу доволі просто «вмонтувати» технічну теорію зчеплення арматури з бетоном в загальну теорію деформування залізобетону [17-19]. Через осереднені характеристики в блоці між суміжними тріщинами всі пара-метри тріщиноутворення безпосередньо пов'язуються з характеристиками зчеплення арматури з бетоном. Отримані при цьому рішення є набагато простішими за ті, що пропонуються в рамках механіки руйнування за моделями «двоконсольних елементів» чи складених стрижнів. Декларовані переваги згаданих моделей [8, 13, 20] в загальній теорії залізобетону взагалі є дискусійними. Річ в тім, що механіка руйнування дозволяє досить ефективно описувати закономірності зародження і розвитку неоднорідностей та дефектів структури відносно однорідних матеріалів. Застосування ж її до залізобетону, в якому ще до початку завантаження є безліч неоднорідностей та дефектів у вигляді пор і раковин, мікро- та макротріщин і дислокацій різного роду,

призводить до рішень, реалізація яких вкрай ускладнена навіть за допомогою спеціальних програмних комплексів. Тому запровадження рішень механіки руйнування у практику проектування залізобетонних елементів і конструкцій залишається доволі обмеженим.

Ефективність використання деформаційно-силової моделі опору залізобетону силовим впливам та розроблених на її основі методів розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій була оцінена шляхом порівняння результатів теоретичних розрахунків з експериментальними даними (таблиця). Водночас аналогічні порівняння були зроблені з результатами розрахунків, виконаних за методиками чинних норм [15, 16]. Всі вони показали, що пріоритет в точності оцінювання несучої здатності, прогинів та ширини розкриття нормальних тріщин залізобетонних елементів належить методам розрахунку, в основі яких лежить ДСМ опору залізобетону.

Висновки. Таким чином, пропонований напрям розвитку загальної теорії залізобетону за деформаційно-силовою моделлю дозволяє:

- досягти повної методологічної єдності розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій за несучою здатністю, тріщиностійкістю та прогинами;
- суттєво знизити рівень статичної невизначеності загальновідомої системи рівнянь МДГТ і навіть перетворити її в статично визначену;
- ефективно прогнозувати не тільки загальну жорсткість, але й будь-який інший параметр НДС залізобетонних елементів і

конструкцій на будь-якій стадії їх деформування за мінімального використання емпіричних параметрів і коефіцієнтів або ж взагалі без їх залучення;

- створювати інженерні експрес-методи розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій за граничними

станами без використання спеціального програмного забезпечення;

- доволі просто інтегрувати технічну теорію зчеплення арматури з бетоном в загальну теорію деформування залізобетону.

Таблиця

Порівняння теоретичних та експериментальних значень параметрів

Автори та параметри досліджень	Відхилення дослідних даних від розрахункових за								
	[15]			[16]			[5]		
	Δ	σ	$\nu, \%$	Δ	σ	$\nu, \%$	Δ	σ	$\nu, \%$
Несуча здатність згинальних елементів									
Pam H. J. [21]	1,02	0,083	7,83	1,016	0,08	7,83	1,013	0,073	7,25
Sarkar S. [22]	1,052	0,17	16	1,048	0,174	16,65	1,028	0,133	12,93
Прогини									
Burns N., Siess C.[23]	1,019	0,155	15,24	1,022	0,159	15,51	0,978	0,11	11,29
Ernst G. C. [24]	1,011	0,18	17,78	1,009	0,188	18,64	1,018	0,142	13,96
Ширина розкриття нормальних тріщин									
Pundinaitė M. [25]	1,289	0,3	23,29	1,334	0,321	24,06	1,106	0,199	18,31
Gilbert R., Nejadi S.[26]	1,095	0,332	30,33	1,103	0,377	34,14	1,087	0,21	19,34
Δ і σ - середньоарифметичне та стандартне відхилення, ν - коефіцієнт варіації									

Список використаних джерел

1. Лолейт А. Ф. Инструкция для подбора сечений железобетонных элементов по критическим усилиям. Москва: ВНИИТОБ, 1933. 82 с.
2. Пастернак П. Л. Замечания к проекту новых норм проектирования железобетонных конструкций. *Строительная промышленность*. 1944. № 7. С. 20-23.
3. Гвоздев А. А. Расчёт несущей способности конструкций по методу предельного равновесия: сущность метода и его обоснование. Москва: Госстройиздат, 1949. 280 с.
4. Гольденблат И. И. Основные положения метода расчета строительных конструкций по расчетным предельным состояниям и нагрузкам. Москва: Госстройиздат, 1955. 35 с.
5. Ромашко В. М. Деформаційно-силова модель опору бетону і залізобетону: монографія. Рівне: О. Зень, 2016. 424 с.
6. Romashko V., Romashko O. The construction features of the deformation and force model of concrete and reinforced concrete resistance. *MATEC Web of Conf.* 2017. Vol. 116. 02028.
7. Romashko V. and Romashko O. Fundamentals of the General Theory of Resistance of Reinforced Concrete Elements and Structures to Power Influences. *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 968. P. 534-540.
8. Бондаренко В. М., Колчунов В. И. Расчётные модели силового сопротивления железобетона: монография. Москва: «АСВ», 2004. 472 с.

9. Колчунов В. И., Яковенко И. А. Об использовании гипотезы плоских сечений в железобетоне. *Строительство и реконструкция*. 2011. № 6(38). С. 16-23.
10. Кочкаръов Д. В., Бабич В. І. Передумови розрахунку та розрахунк прогинів залізобетонних елементів, що зазнають згину, з урахуванням нелінійного деформування матеріалів. *Будівельні конструкції: зб. наук. праць НДІБК*. Київ, 2011. Вип. 74. Ч.1. С. 406-413.
11. Бачинский В. Я. О потере устойчивости деформирования изгибаемого бруса. *Строительные конструкции: респ. межведомст. науч.-техн. сб. НИИСК Госстроя СССР*. Київ, 1982. Вып. 35. С. 55-58.
12. Гольшев А. Б., Бачинский В. Я. К разработке прикладной теории расчёта железобетонных конструкций. *Бетон и железобетон*. 1985. № 6. С. 16-18.
13. Колчунов В. И., Яковенко И. А. Разработка двухконсольного элемента механики разрушения для расчета ширины раскрытия трещин железобетонных конструкций. *Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ*. 2009. № 4(21). С. 160-163.
14. Бамбура А. М. Експериментальні основи прикладної деформаційної теорії залізобетону: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / НДІБК. Київ, 2005. 379 с.
15. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чин. від 01.06.11]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.
16. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings [Final Draft, Dec. 2004]. Brussels: CEN. 2004. 225 p.
17. Romashko O., Romashko V. Evaluation of bond between reinforcement and concrete. *MATEC Web of Conf*. 2018. Vol. 230. 02027.
18. Romashko V., Romashko O. Calculation of the crack resistance of reinforced concrete elements with allowance for the levels of normal crack formation. *MATEC Web of Conf*. 2018. Vol. 230. 02028.
19. Romashko O. V. and Romashko V. M. Model of multilevel formation of normal cracks in reinforced concrete elements and structures. *IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. 012069.
20. Яковенко І. А. Моделі деформування залізобетону на засадах механіки руйнування: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.01. Полтава, 2018. 44 с.
21. Pam H. J., Kwan A. K. H., Islam M. S. Flexural strength and ductility of reinforced normal- and high-strength concrete beams. *Structures & Buildings*. 2001. Vol. 146, No 4. P. 381-389.
22. Sarkar S., Adwan O., Munday J. G. L. High strength concrete: an investigation of the flexural behavior of high strength RC beams. *The Structural Engineer*. 1997. Vol. 75, No 7. P. 115-121.
23. Burns N. H., Siess C. P. Plastic Hinging in Reinforced Concrete. *Proceedings ASCE*. 1966. Vol. 92, ST5. P. 45-64.
24. Ernst G. C. Plastic hinging at the intersection of beams and columns. *ACI Journal*. 1957. Vol. 28, No 12. P. 1119-1144.
25. Pundinaitė M. Lenkiamųjų gelžbetoninių element pleišėjimo eksperimentiniai ir teoriniai tyrimai: Baigiamasis magistro darbas Vilnius: Gedimino Technikos Universitetas, 2010. 103 p.
26. Gilbert R. I., Nejadi S. An Experimental Study of Flexural Cracking in Reinforced Concrete Members under Sustained Loads: UNICIV Report № R-435, School of Civil and Environmental Engineering. Sydney: University of New South Wales, 2004. 59 p.

Ромашко Василь Миколайович, д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри основ архітектурного проектування,

конструювання і графіки Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне).
ORCID iD: 0000-0003-3448-7489. Тел.: (097) 595-75-91. E-mail: romashkovasyl@gmail.com.

Romashko Vasyl Mykolayovych, D. Sc. (Tech.), associate professor, head of Chair of Architectural Designing Bases,
Constructing and Graphics National University of Water Management and Nature Recourses Use (Rivne). ORCID iD:
0000-0003-3448-7489. Tel.: (097) 595-75-91. E-mail: romashkovasyl@gmail.com.

Статтю прийнято 18.06.2020 р.