

УДК 624.012.35:620.173/174

ОПІР СТИСНУТОГО БЕТОНУ ДІЇ ТРИВАЛИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Канд. техн. наук О. В. Ромашко-Майструк, д-р техн. наук В. М. Ромашко

RESISTANCE OF COMPRESSED CONCRETE TO LONG-TERM LOADS

PhD(Tech.) O. V. Romashko-Maistruk, Dr. Sc.(Tech.) V. M. Romashko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.206.2023.296654>



Анотація. Стаття стосується основних закономірностей і особливостей деформування стиснутого бетону за дії тривалих навантажень. Основні зусилля спрямовані на встановлення аналітичної залежності з визначення рівня тривалої міцності стиснутого бетону. Здійснено критичний аналіз існуючих на сьогодні залежностей з його розрахунку. Отримано функціональну залежність рівня тривалої міцності стиснутого бетону не тільки від його стандартизованих пружно-пластичних характеристик, але і швидкості деформування бетону. Оцінювання запропонованої методики визначення рівня тривалої міцності стиснутого бетону зведено до порівняння результатів відповідних теоретичних розрахунків з оприлюдненими експериментальними даними різних дослідників.

Ключові слова: бетон, енергетична модель, питома потенціальна енергія, швидкість деформування, тривалі навантаження, рівень тривалої міцності.

Abstract. This article deals with the main regularities and features of compressed concrete deformation under the action of long-term loads. The main efforts are aimed at establishing an analytical dependence on determining the long-term strength level of compressed concrete. A critical analysis of the currently existing dependencies based on its calculation was carried out. These studies are based on the general provisions and hypotheses of the previously developed energy model of concrete and reinforced concrete deformation.

The defining hypothesis of the specific potential energy invariance of the concrete ultimate deformation (destruction) and its independence from the loading mode of the concrete itself was used. The specific potential energy of compressed concrete deformation at the moment of its destruction under three loading modes is considered: instantaneous dynamic, standardized short-term and long-term. The level of compressed concrete long-term strength is related to the dynamic increase factor limit values (DIF_u) under the instantaneous loading mode. In turn, the compressed concrete dynamic increase factor is functionally related to the generally recognized coefficient of compressed concrete standardized elastic-plastic properties under a short-term loading regime. In this way, the functional dependence of the level of compressed concrete long-term strength was obtained not only on its standardized elastic-plastic characteristics, but also on the rate of concrete deformation or on the rate of its loading. The evaluation of the proposed methodology for determining the level of compressed concrete long-term strength is reduced to a comparison of the relevant theoretical calculations results with the various researchers' published experimental data.

Keywords: concrete, energy model, specific potential energy, rate of deformation, long-term loads, level of long-term strength.

Вступ. Перші серйозні дослідження тривалої міцності стиснутого бетону були проведені ще наприкінці 30-х років

минулого століття [1]. Однак у сучасних нормах проектування ще й досі відсутні чіткі та достатньо обґрунтовані

рекомендації щодо врахування впливу тривалих навантажень у розрахунках залізобетонних елементів за граничними станами. І тут ідеться не тільки про максимально безпечні рівні тривалого навантаження, але і режими прикладання (створення) цих навантажень. Адже цілком очевидно, що зміна швидкості прикладання навантаження або швидкості деформування бетону призводитиме не тільки до зміни безпечного рівня тривалого навантаження, але і зміни деформаційних можливостей стиснутого бетону. Інакше кажучи, рівень

тривалої міцності стиснутого бетону та його критичні (граничні) деформації залежатимуть не тільки від класу самого бетону, але і швидкості його деформування (рис. 1). А оскільки реальні режими прикладання експлуатаційних навантажень є доволі тривалими, то встановлення подібних залежностей між параметрами стиснутого бетону матиме важливе значення для побудови універсальної моделі деформування бетонних і залізобетонних елементів і конструкцій.

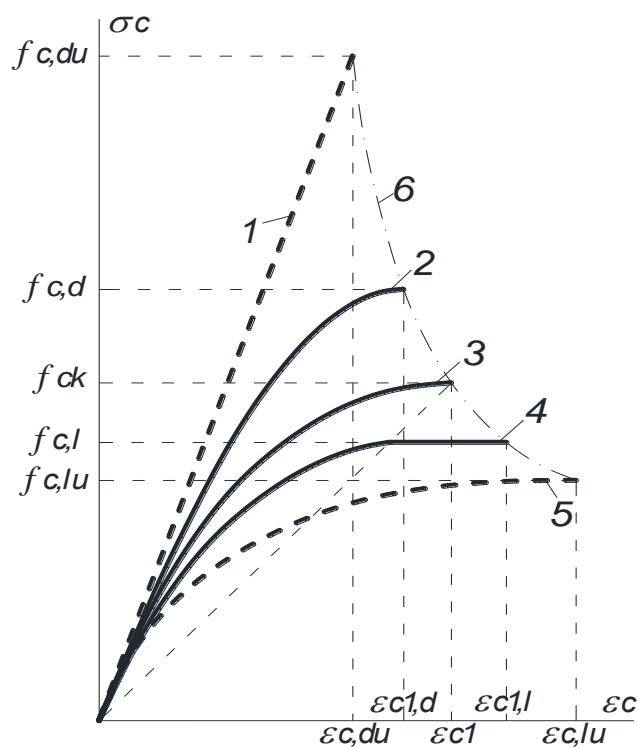


Рис. 1. Діаграми деформування стиснутого бетону $\sigma_c - \varepsilon_c$ за різних видів і режимів навантаження: 1 – миттєвого; 2 – динамічного; 3 – короткочасного; 4 – тривалого; 5 – довготривалого; 6 – крива граничних деформацій

Аналіз останніх досліджень.

Дослідження тривалої міцності стиснутого бетону стали одними з визначальних у теорії залізобетону, відколи йдеться про практичне проєктування залізобетонних елементів і конструкцій. Тому й не дивно, що найбільш активні дослідження в цьому

напрямку розпочалися саме в 30-60-х роках минулого століття [1-4]. Найгрунтовнішими серед них стали вишукування Рюша Н. [4, 5], які стосувалися в основному бетонів низьких і середніх класів міцності. Вони, як і всі дослідження цього періоду, показали, що навіть за тривалого віку рівень тривалої

міцності бетонів низьких класів не перевищував 0,75, а бетонів середніх класів був нижчим 0,8. Встановлено також, що за таких рівнів постійного навантаження навіть подальша тривала гідратація цементного каменю в бетоні раннього віку не здатна зупинити процес його руйнування в кінцевому випадку. Водночас зазначено, що за відносно помірних рівнів напружень у стиснутому бетоні ($\sigma / f_c = 0,4 \dots 0,6$) спостерігається незначний позитивний вплив тривалого навантаження на його міцність.

Хоча Рюш Н. і розробив першу концепцію тривалої міцності бетону, однак він так і не запропонував певної аналітичної залежності для визначення цієї міцності. Пізніше таке завдання спробував

вирішити Яшин А. В. [6], однак рекомендована ним логарифмічна залежність, що пов'язувала міцність стиснутого бетону з тривалістю дії постійного навантаження, була надто примітивною. Вона не враховувала впливу цілої низки важливих технологічних і вікових факторів, а також основних складових компонентів бетону на його тривалу міцність.

Подальші дослідження тривалої міцності стиснутого бетону [7-12] уже стосувалися не тільки низьких і середніх класів бетону, але й надміцних бетонів. Згодом результати цих досліджень були відображені як у більш ранніх [13], так і нині чинних нормативних документах [14] доволі складною логарифмічно-експоненційною залежністю

$$\eta_l = (0,96 - 0,12 \cdot (\ln(72 \cdot (t - t_0)))^{1/4}) \cdot \exp(s \cdot (1 - \sqrt{28/t_0})), \quad (1)$$

де η_l – рівень тривалої міцності бетону;

$t - t_0$ – тривалість дії навантаження;

t_0 – вік бетону на момент його завантаження;

s – коефіцієнт, що залежить від класу цементу (R, N, S).

Відносно простою видається залежність, отримана в дослідженні [15],

$$\eta_l = 0,85 - 0,15 \cdot \varphi(t - t_0), \quad (2)$$

де $\varphi(t - t_0)$ – емпірична функція, що враховує тривалість дії навантаження на міцність бетону.

Та все ж таки вона є надто примітивною, оскільки не враховує впливу цілої низки важливих факторів на тривалу міцність бетону. Але її основний недолік полягає в тому, що вона є чисто емпіричною.

Не менш складною для використання у практичних розрахунках виявилася залежність, запропонована в роботі [16],

$$\gamma(t - t_0) = \frac{R_0}{R(t_0)} \cdot \sqrt{\frac{1 + E(t) \cdot C^*(t, t)}{1 + E(t) \cdot C^*(t, t_0)}}, \quad (3)$$

де $\gamma(t - t_0)$ – рівень тривалої міцності бетону;

R_0 – прогнозована міцність бетону у старому віці ($t \rightarrow \infty$);

$R(t_0)$ – міцність бетону на момент його завантаження;

$E(t)$ – модуль пружності бетону у віці його руйнування;

$C^*(t, t)$ – міра повзучості бетону у віці його руйнування;

$C^*(t, t_0)$ – міра повзучості бетону у віці його завантаження.

Основним недоліком функції (3) є те, що користування нею неможливе без знання основних фізико-механічних характеристик бетону у віці 28 діб, на момент його завантаження та руйнування, а також у віці $t \rightarrow \infty$. Тому переважна більшість дослідників [17, 18] продовжують і надалі віддавати перевагу нормативній залежності (1).

Отже, зважаючи на все вищесказане, можна стверджувати, що дослідження, пов'язані з опором стиснутого бетону дії тривалих навантажень, залишатимуться й надалі одними з найбільш актуальних у загальній теорії залізобетону.

Постановка мети і задач досліджень. Стаття спрямована на розроблення ключових положень загальної моделі деформування стиснутого бетону за дії тривалих навантажень. Основним завданням є отримання аналітичної залежності рівня тривалої міцності стиснутого бетону. Вона має забезпечити простий підхід до врахування впливу тривалого навантаження на поведінку стиснутого бетону як з позицій його міцності, так і здатності до граничного можливого деформування при реальному проектуванні залізобетонних елементів і конструкцій. Базовою для такого підходу може бути раніше розроблена енергетична модель [19, 20], що ґрунтується на загальних закономірностях збереження потенціальної енергії деформування матеріалів за різних режимів їхнього завантаження.

Основний матеріал досліджень

Методика досліджень. В основу досліджень покладено найважливіші закономірності фізико-математичного моделювання процесів деформування бетонних і залізобетонних елементів і конструкцій [21-23] і загальновідомий закон збереження питомої потенціальної енергії деформування матеріалу незалежно від режиму його навантаження.

Результати досліджень. Загальновідомо, що такі фізико-механічні характеристики бетону, як міцність на стиск f_c і розтяг f_{ct} і відповідні їм критичні деформації ε_{c1} і ε_{ct1} значною мірою залежать від швидкості його завантаження або деформування (рис. 1). Цілком очевидно, що чим меншою буде швидкість деформування бетону, тим нижчою буде його міцність і більшими будуть граничні (критичні) деформації бетону в момент його руйнування. Водночас відомо, що добуток двох вищевказаних параметрів характеризує питому потенціальну енергію деформування бетону. А, за законом збереження потенціальної енергії, вона має залишатися незмінною та незалежною від режиму завантаження самого матеріалу. Інакше кажучи, площа діаграми деформування стиснутого бетону залишатиметься сталою або незмінною за будь-якого типу навантаження: миттєвого, короткочасного чи довготривалого (рис. 2).

У разі миттєвого завантаження бетон буде деформуватися пружно, оскільки пластичні деформації або деформації повзучості проявитися не встигнуть. За таких обставин питому потенціальну енергію деформування стиснутого бетону на момент його руйнування можна обчислити за дуже простим виразом [24]

$$u_d = f_{c,du}^2 / (2 \cdot E_{co}), \quad (4)$$

де E_{co} – початковий модуль пружності бетону за напружень $\sigma_c = 0$;

$f_{c,du}$ і $\varepsilon_{c,du}$ – міцність стиснутого бетону та відповідні їй критичні (граничні) деформації бетону за миттєвого динамічного завантаження.

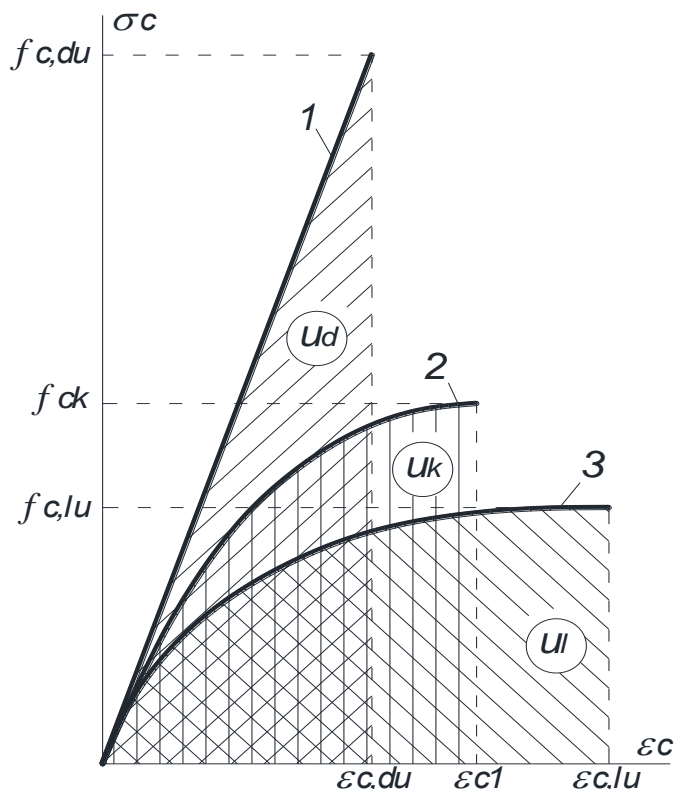


Рис. 2. Епюри питомої потенціальної енергії руйнування бетону при завантаженні: 1 – миттєвому динамічному; 2 – стандартизованому короткочасному; 3 – довготривалому

У випадку короткочасного квазістатичного режиму завантаження або деформування, що описується

неправильною дробово-раціональною функцією $\sigma_c - \varepsilon_c$ [22, 23], цю енергію слід обчислювати за виразом [24]

$$u_k = \frac{dU}{dV} = \int_0^{\varepsilon_{c1}} \sigma_c d\varepsilon_c = \frac{f_{ck} \cdot \varepsilon_{c1}}{(k-2)} \left[-\frac{1}{2} + \frac{(k-1)^2}{(k-2)} - \left(\frac{k-1}{k-2} \right)^2 \cdot \ln(k-1) \right], \quad (5)$$

де ε_c – поточні деформації стиснутого бетону;

f_{ck} і ε_{c1} – міцність і критичні деформації стиснутого бетону за дії стандартизованих статичних навантажень;

$k = E_{co} \cdot \varepsilon_{c1} / f_{ck}$ – характеристика деформативності стиснутого бетону.

За аналогічним виразом можна було б визначати і питому потенціальну енергію руйнування стиснутого бетону за дії тривалого навантаження

$$u_l = \int_0^{\varepsilon_{c,lu}} \sigma_c d\varepsilon_c = \frac{f_{c,lu} \cdot \varepsilon_{c,lu}}{(k_l-2)} \left[-\frac{1}{2} + \frac{(k_l-1)^2}{(k_l-2)} - \left(\frac{k_l-1}{k_l-2} \right)^2 \cdot \ln(k_l-1) \right], \quad (6)$$

де $f_{c,lu}$ і $\varepsilon_{c,lu}$ – граничні значення тривалої міцності та відповідні їй критичні деформації стиснутого бетону;

$k_l = E_{co} \cdot \varepsilon_{c,lu} / f_{c,lu}$ – характеристика граничної деформативності стиснутого бетону за дії тривалих навантажень.

$$DIF_u = \frac{f_{c,du}}{f_{ck}} = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{(k-2)} \left[-\frac{1}{2} + \frac{(k-1)^2}{(k-2)} - \left(\frac{k-1}{k-2} \right)^2 \ln(k-1) \right]}. \quad (7)$$

Функція (7) характеризує граничну міцність стиснутого бетону за його миттєвого деформування. Зі зменшенням швидкості деформування ($\dot{\varepsilon}$) коефіцієнт динамічного зміцнення теж буде зменшуватися і при $\dot{\varepsilon} = 10^{-6} c^{-1}$ досягне рівня тривалої міцності стиснутого бетону $DIF = \eta_l = 1$.

Цілком очевидно, що подальше зниження рівня тривалої міцності стиснутого бетону відбуватиметься за подальшого зменшення швидкості його деформування. За допомогою методів числового аналізу цей процес вдалося пов'язати залежністю

$$\eta_l = DIF_u^{(\log(\dot{\varepsilon} / \dot{\varepsilon}_s) + 1) / 9} \text{ для } \dot{\varepsilon} \leq 10^{-6} c^{-1}, \quad (8)$$

де $\dot{\varepsilon}_s$ – максимальна швидкість деформування стиснутого бетону за дії квазістатичних навантажень, $\dot{\varepsilon}_s = 10^{-5} c^{-1}$.

Однак основні параметри цієї залежності $f_{c,lu}$ і $\varepsilon_{c,lu}$ (як і k_l) є невідомими, а тому визначити рівень тривалої міцності бетону зі спільного розв'язку рівнянь (5) і (6) практично неможливо. Проте зі спільного розв'язку рівнянь (4) і (5) було отримано залежність граничних значень коефіцієнта динамічного зміцнення стиснутого бетону [24]

Якщо найменшу швидкість деформування стиснутого бетону прийняти згідно з табл. 1 рівною $\dot{\varepsilon} = 10^{-10} c^{-1}$, то найбезпечніший (мінімальний) рівень його тривалої міцності можна обчислювати за виразом

$$\eta_{lu} = DIF_u^{-4/9}. \quad (9)$$

Формула (8) показує, що рівень тривалої міцності стиснутого бетону залежить не лише від його фізико-механічних характеристик, відображених у DIF_u коефіцієнтом пружно-пластичних властивостей бетону $k = E_{co} \cdot \varepsilon_{c1} / f_{ck}$, але і швидкості його деформування $\dot{\varepsilon}$. Значення рівнів тривалої міцності стиснутого бетону, обчислені за формулою (8) для різних його класів при різних швидкостях деформування, наведені в табл. 2.

Таблиця 1

Швидкість деформування стиснутого бетону залежно від типу навантаження

Тип навантаження	Швидкість деформування $\dot{\varepsilon}$, c^{-1}
Тривалі ("повзучі")	$10^{-10} \dots 10^{-6}$
Статичні, квазістатичні	$10^{-6} \dots 10^{-5}$

Таблиця 2

Рівні тривалої міцності стиснутого бетону за різної швидкості його деформування ($\dot{\epsilon}$)

Клас бетону	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/35	C32/40	C35/45
$\eta_l(\epsilon=10^{-8}c^{-1})$	0,794	0,808	0,823	0,835	0,845	0,854	0,863	0,869
$\eta_{lu}(\epsilon=10^{-10}c^{-1})$	0,63	0,654	0,678	0,697	0,714	0,73	0,744	0,756
Клас бетону	C40/50	C45/55	C50/60	C53/65	C56/70	C60/75	C65/80	C70/85
$\eta_l(\epsilon=10^{-8}c^{-1})$	0,878	0,884	0,89	0,896	0,901	0,907	0,912	0,916
$\eta_{lu}(\epsilon=10^{-10}c^{-1})$	0,77	0,782	0,793	0,803	0,813	0,823	0,831	0,839
Клас бетону	C75/90	C80/95	C85/100	C90/105	C95/110	C100/115	C105/120	
$\eta_l(\epsilon=10^{-8}c^{-1})$	0,921	0,924	0,928	0,932	0,935	0,939	0,941	
$\eta_{lu}(\epsilon=10^{-10}c^{-1})$	0,848	0,854	0,862	0,868	0,874	0,881	0,886	

Для оцінювання ефективності розробленої методики щодо визначення рівня тривалої міцності стиснутого бетону результати теоретичних розрахунків за виразом (8) були порівняні з експериментальними даними окремих

дослідників [1-8, 10, 12, 17]. Усі вони відображені на графіку рис. 3 і підтверджують, що нижню межу тривалої міцності стиснутого бетону доцільно прогнозувати за залежністю (9).

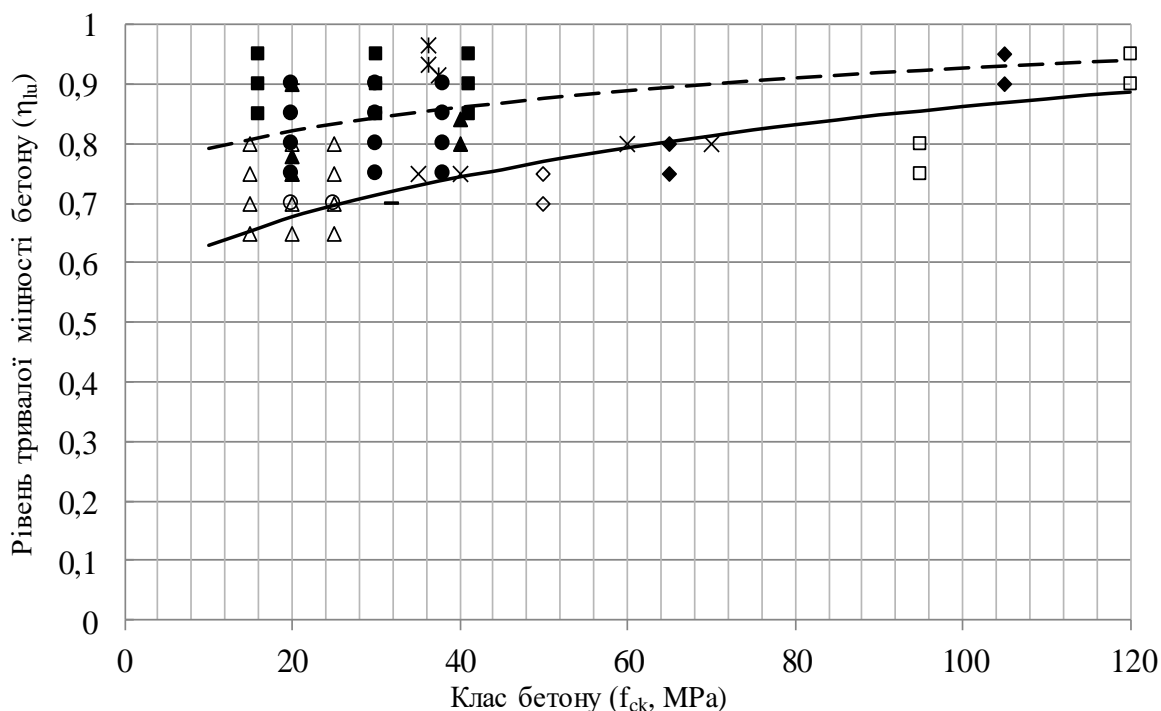


Рис. 3. Тривала міцність стиснутого бетону за результатами експериментів зі зруйнованими зразками (\blacktriangle - [1]; $+$ - [2]; \bullet - [4, 5]; \blacksquare - [7]; \times - [10]; \blacklozenge - [12]; \ast - [17]) і незруйнованими зразками ($-$ - [3]; \triangle - [6]; \diamond - [8]; \circ - [10]; \square - [12]); розрахунків за формулою (8) при швидкостях деформування — - $\dot{\epsilon} = 10^{-10} c^{-1}$ і --- - $\dot{\epsilon} = 10^{-8} c^{-1}$

Висновки. Отже, завдяки раніше розробленим положенням і гіпотезам енергетичної моделі деформування бетону та залізобетону сформовано основи загальної моделі деформування бетону за дії тривалих навантажень. Вперше запропоновано аналітичну залежність, що пов'язує рівень тривалої міцності стиснутого бетону не лише з його визначальними пружно-пластичними стандартизованими характеристиками за дії короточасних навантажень ($k = E_{co} \cdot \varepsilon_{cl} / f_{ck}$), але і швидкістю

деформування бетону $\dot{\varepsilon}$. Отримана залежність дає змогу контролювати весь процес деформування стиснутого бетону в бетонних і залізобетонних елементах і конструкціях за дії тривалих навантажень і прогнозувати рівень його тривалої міцності.

Загалом же вищенаведені результати досліджень відкривають широкі можливості в розробленні універсальної методики розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій [25] за дії навантажень будь-якої тривалості.

Список використаних джерел

1. Graf O. und Brenner E. Versuche mit Betonkörpern, die einer dauernd wirkenden Druckbelastung ausgesetzt waren. *BAUINGENIEUR*. 1937. Heft 19/20. S. 237-270.
2. Shank J. R. Plastic Flow of Concrete at High Overload. *ACI Journal*. 1949. Vol. 20, No. 6. P. 493-498.
3. Sell R. Investigation into the Strength of Concrete Under Sustained Load. *RILEM Bulletin*. 1959. No. 5. P. 1-13.
4. Rüsч H. Versuche zur Bestimmung des Einflusses der Zeit auf Festigkeit und Verformung. *IABSE Kongressbericht*. 1956. No. 5. P. 237-244.
5. Rüsч H. Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete. *ACI Journal*. 1960. Vol. 57, No. 1. P. 1-28. URL: DOI:10.14359/8009.
6. Яшин А. В. Деформации бетона под длительным воздействием высоких напряжений и его длительное сопротивление при сжатии. *Особенности деформаций бетона и железобетона и использование ЭВМ для оценки их влияния на поведение конструкций*. Москва: Стройиздат, 1969. С. 38-76.
7. Awad M. E. and Hilsdorf H. K. Strength and Deformation Characteristics of Plain Concrete Subjected to High Repeated and Sustained Loads. *Structural Research Series*. 1971. No. 372. 266 p. URL: trid.trb.org/view/99204.
8. Stöckl S. Strength of Concrete under Uniaxial Sustained Loading. *SP-34 Concrete for Nuclear Reactors*. 1972. Vol. 1. P. 313-326.
9. Ngab A. S., Slate F. O., Nilson A. H. Microcracking and Time-Dependent Strains in High Strength Concrete. *ACI Journal*. 1981. Vol. 78. P. 262-268. (SCOPUS). URL: trid.trb.org/view/868767.
10. Smadi M. M., Slate F. O. and Nilson A. H. High-, Medium-, and Low-Strength Concretes Subject to Sustained Overloads - Strains, Strengths, and Failure Mechanisms. *ACI Materials Journal*. 1985. Vol. 82, No. 5. P. 657-664. (SCOPUS). URL: concrete.org/publications/details&ID=10376.
11. Han N. Time Dependent Behaviour of High Strength Concrete: PhD Dissertation. Delft University of Technology, 1996. 317 p.
12. Iravani S. and MacGregor J. G. Sustained load strength and short-term strain behavior of high-strength concrete. *ACI Materials Journal*. 1998. Vol. 95, No. 5. P. 636-647. (SCOPUS). URL: trid.trb.org/view/542160.

13. CEB-FIP Model Code 1990: Design Code. Lausanne: Comité Euro-International du Béton, 1991. 437 p.
14. Fib Model Code 2010. Final draft. Fib Bulletin 66. 2012. Vol. 2. 377 p.
15. Петров А. Н. Деформационная модель нелинейной ползучести железобетона и ее приложение к расчету плосконапряженных элементов и систем из них: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. Москва: НИИЖБ, 2001. 321 с.
16. Krishan A., Rimshin V., Erofeev V., Kurbatov V., Markov S. The Energy Integrity Resistance to the Destruction of the Long-Term Strength Concrete. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. P. 211-217. (SCOPUS). URL: doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.143.
17. Tasevski D., Fernández Ruiz M. and Muttoni A. Compressive Strength and Deformation Capacity of Concrete under Sustained Loading and Low Stress Rates. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2018. Vol. 16. P. 396-415. (SCOPUS). URL: doi.org/10.3151/jact.16.396.
18. Empelmann M., Javidmehr S. Evaluation of concrete compression failure under high sustained loads. *Proceedings of the fib Symposium (22.-24.11.2020 in Shanghai, China)*. 2020. P. 827-834.
19. Romashko V. M. and Romashko O. V. Energy resource of reinforced concrete elements and structures for the deformation-force model of their deformation. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. Vol. 708. 012068. (SCOPUS). URL: doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012068.
20. Romashko V., Romashko-Maistruk O. Strength resource calculation of the reinforced concrete elements according to the energy criterion. *Procedia Structural Integrity*. 2022. Vol. 36. P. 269-276. (SCOPUS). URL: doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.034.
21. Ромашко В. М. Жорсткість та модуль деформацій бетону в деформаційній моделі. *Бетон и железобетон в Украине*. 2007. № 6. С. 2-6.
22. Ромашко В. Н. Обобщенная модель деформирования железобетонных элементов и конструкций. *Міжнародний науковий журнал (International scientific journal)*. 2016. Вип. 3. С. 84-86. URL: nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2016_3_23.
23. 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. (SCOPUS). URL: doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.534.
24. Ромашко-Майструк О. В., Ромашко В. М. Основні особливості деформування бетону за дії динамічних навантажень. *Зб. наук. праць Укр. Держ ун-ту залізнич. трансп.* 2023. Вип. 205. С. 60-70. URL: doi.org/10.18664/1994-7852.205.2023.288924.
25. Sanjarovskiy R. et al. General theory and foundations for calculating reinforced concrete structures of buildings and structures in modern construction. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 281. 01041. (SCOPUS). URL: doi.org/10.1051/e3sconf/202128101041.

Ромашко-Майструк Олена Василівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне). ORCID: 0000-0003-3353-2268. Тел.: (096) 131-99-17. E-mail: romashkoolena@gmail.com.

Ромашко Василь Миколайович, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри основ архітектурного проектування, конструювання і графіки, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне). ORCID: 0000-0003-3448-7489. Тел.: (097) 595-75-91. E-mail: romashkovasy1@gmail.com.

Romashko-Maistruk Olena Vasylivna, PhD(Tech.), associate professor at the Department of Industrial, Civil Construction and Engineering Structures National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne). ORCID: 0000-0003-3353-2268. Tel.: (096) 131-99-17. E-mail: romashkoolena@gmail.com.

Romashko Vasylyl Mykolayovych, D. Sc.(Tech.), associate professor, head of Chair of Architectural Designing Bases, Constructing and Graphics National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne). ORCID: 0000-0003-3448-7489. Tel.: (097) 595-75-91. E-mail: romashkovasy1@gmail.com.

Статтю прийнято 09.12.2023 р.