

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 624.012.4

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.4.1>

В. С. ДОРОФЄЄВ

Національний університет «Одеська політехніка»

ORCID: 0000-0002-2412-4134

Г. В. ЗІНЧЕНКО

Національний університет «Одеська політехніка»

ORCID: 0000-0002-0517-0151

Н. В. ПУШКАР

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ORCID: 0000-0002-4243-7353

**ВПЛИВ СТРУКТУРИ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ БЕТОНУ
НА ПОВНУ ДІАГРАМУ ДЕФОРМУВАННЯ**

У даній роботі розглянуті моделі напружено-деформованого стану залізобетонних елементів в залежності від структури бетону, початкового складу композицій та технологічних засобів переробки матеріалів в кінцевий продукт. Результати досліджень показали, що діаграми $\sigma_c - \varepsilon_c$ змінюються в залежності від міцності бетону, початкового складу та його технологічної пошкодженості. В роботі Вахненко П.Ф. визначено, що фактичне значення величин ε_{cr} і ε_{cu} залежить від міцності бетону. Бамбура А.М. проаналізував результати експериментальних досліджень, розробив аналітичні вирази для визначення основних параметрів діаграми $\sigma_c - \varepsilon_c$ в залежності від міцності бетону.

Останнім часом отримав розвиток напрям розробки загальної теорії залізобетону, побудованої на використанні повних діаграм деформування бетону і арматури, що дозволяє найбільш точно визначити напружений стан на всіх стадіях роботи залізобетонного елемента. Важливою особливістю повних діаграм деформування бетону є наявність низхідних ділянок, які дозволяють найбільш повно визначити роботу бетону в стадії руйнування. Діаграма не має стабільного характеру, тому що величина непружних деформацій бетону залежить від багатьох факторів: технологічних, швидкості та характеру навантаження, складу бетонів, технологічної пошкодженості та інших.

Авторами на підставі експериментальних обґрунтувань виведена залежність між міцнісними і деформативними характеристиками бетонів на висхідній гілці діаграми $\sigma_c - \varepsilon_c$. З використанням функції Хевісайда запропонована універсальна формула деформування бетону у вигляді двоквадратичної залежності. Отриманий закон деформування бетону на всьому діапазоні завантаження у вигляді двоквадратичного закону включає деформативні константи E_0 , E_1 і E_2 . Для визначення констант була проведена серія експериментів при осьовому стисканні однократним короткочасним навантаженням. Наведені діаграми $\sigma_c - \varepsilon_c$ для усіх трьох випадків значення коефіцієнта E_2 . Складена таблиця механічних характеристик бетонів при двоквадратичному законі деформування при стисканні в залежності від класів бетону.

Ключові слова: структура, технологічна пошкодженість, міцність, деформування, бетон, моделювання, руйнування.

V. S. DOROFEEV

Odesa Polytechnic National University

ORCID: 0000-0002-2412-4134

H. V. ZINCHENKO

Odesa Polytechnic National University

ORCID: 0000-0002-0517-0151

N. V. PUSHKAR

Odesa State Academy of Building and Architecture

ORCID: 0000-0002-4243-7353

**THE INFLUENCE OF STRUCTURE AND TECHNOLOGICAL DAMAGE OF CONCRETE
FOR THE FULL DEFORMATION DIAGRAM**

In this work models of the stress-strain state of reinforced concrete elements are considered, depending on the structure, the initial composition of concrete, and the technological means of processing materials into the final product. The research results showed that the $\sigma_c - \varepsilon_c$ diagrams change depending on the concrete strength, initial composition and its technological damage. In the work of Vakhnenko P.F. it was determined that the actual value of ε_{cr} and ε_{cu} depends on the strength of the concrete. Bambura A.N. analyzed the results of experimental studies, developed analytical expressions for determining the main parameters of the diagram $\sigma_c - \varepsilon_c$ depending on the strength of concrete.

Recently, the direction of development of the general theory of reinforced concrete, built on the use of complete diagrams of deformation of concrete and reinforcement, has been developed. This allows the most accurate determination of the stress state at all stages of the work of the reinforced concrete element. An important feature of complete concrete deformation diagrams is the presence of descending sections, which allow the most complete determination of the performance of concrete in the stage of destruction. The diagram does not have a stable character, because the magnitude of inelastic deformations of concrete depends on many factors: technological, speed and nature of loading, composition of concrete, technological damage and others.

Based on experimental justifications, the authors derived the dependence between the strength and deformation characteristics of concrete on the ascending branch of the $\sigma_c - \varepsilon_c$ diagram. Using the Heaviside function, a universal formula for concrete deformation in the form of a biquadratic dependence is proposed. The resulting law of concrete deformation over the entire loading range in the form of a biquadratic law includes deformation constants E_0 , E_1 and E_2 . To determine the constants, a series of experiments was conducted by means of axial compression with a single short-term load. The diagrams $\sigma_c - \varepsilon_c$ for all three cases of the value of the E_2 coefficient are given. A table of mechanical characteristics of concrete with the biquadratic law of deformation in compression, depending on the classes of concrete, is compiled.

Key words: structure, technological damage, strength, deformation, concrete, modeling, destruction.

Постановка проблеми

В даний час є багато різних пропозицій щодо створення методів розрахунку, які базуються на чітких фізичних положеннях з використанням повних діаграм деформування бетону. Це роботи А. Бамбури [1, 2], Я. Бліхарського [3], З. Бліхарського [4], П. Вахненко [5], В. Дорофєєва [6, 7, 8, 9], В. Кобринця, Н. Пушкар [10, 11], О. Яременко, Т. Ле, Р. Вегера та інших.

Запропоновані методи не дають можливості рекомендувати залежності для визначення нормальних і дотичних напружень, а також аналізувати напружений стан в різних перерізах згинальних елементів. Це дає можливість зробити висновок про необхідність подальшої розробки і вдосконалення методів розрахунку, що базуються на чітких фізичних передумовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вахненко П. Ф. [5] розробив метод розрахунку залізобетонних конструкцій з використанням діаграм деформування бетону (рис. 1). На підставі досліджень було встановлено, що фактичне значення величин ε_{cR} і ε_{cu} залежить від міцності бетону: при її підвищенні ε_{cR} зростає, а ε_{cu} – зменшується. За результатами обробки великої кількості досліджень встановлено, що залежність $\varepsilon_{cR} = f(f_{cdn})$ має криволінійний характер, близький до параболи, а $\varepsilon_{cu} = f(f_{cdn})$ – пряма лінія. Ці лінії апроксимуються функціями:

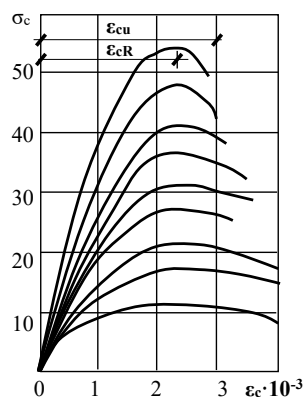


Рис. 1. Діаграми залежності між напруженнями і деформаціями у бетоні (за даними Вахненко П. Ф.)

$$\varepsilon_{cR} = A_0 + A_1 \cdot f_{cdn} + A_2 \cdot f_{cdn}^2; \varepsilon_{cu} = B_0 + f_{cdn} \cdot B_1$$

де A_0 , A_1 , A_2 , B_0 , B_1 – коефіцієнти і параметри, отримані на основі експериментальних даних.

Досліджуючи криві $\sigma_c - \varepsilon_c$ автор встановив, що їх кривизна на висхідній і низхідній ділянці різна: на першій вона більша ніж на другій, і між ними існує плавний перехід. На підставі прийнятих граничних умов залежність $\sigma_c = f(\varepsilon_c)$ представлена рівняннями:

$$\sigma_c = \begin{cases} C_1 \varepsilon_c + C_2 \varepsilon_c^2 + C_3 \varepsilon_c^3 \text{ при } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cR} \\ D_0 + D_1 \varepsilon_c + D_2 \varepsilon_c^2 \text{ при } \varepsilon_{cR} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \end{cases} \quad (1)$$

де C_1 , C_2 , C_3 , D_0 , D_1 , D_2 – параметри, які визначаються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= E_{cm}; & D_0 &= f_{cdn} \left(1 - 0,15 \frac{\varepsilon_{cR}^2}{d} \right); \\ C_2 &= \frac{-2E_{cm}\varepsilon_{cR} - 3f_{cdn}}{\varepsilon_{cR}^2}; & D_1 &= 0,3f_{cdn} \frac{\varepsilon_{cR}}{d}; \\ C_3 &= \frac{E_{cm}\varepsilon_{cR} - 2f_{cdn}}{\varepsilon_{cR}^2}; & D_2 &= 0,15 \frac{f_{cdn}}{d}, \end{aligned} \right\}$$

де $d = (\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{cR})^2$.

Бамбура А.М. [1, 2], аналізуючи результати експериментів і дослідження інших авторів, розробив аналітичну залежність для визначення основних параметрів діаграми $\sigma_c - \varepsilon_c$ в залежності від міцності бетону.

$$E_{cm} = [54,6f_{cd} / (f_{cd} + 20)] \cdot 10^{-3}; \quad \varepsilon_{cR} = [235 - 81 / (1 + 7,75f_{cd}^2 \cdot 10^{-4})] \cdot 10^{-5};$$

$$\varepsilon_{cu} = [235 + 320 / (1 + f_{cd} \cdot 10^{-4} \cdot 6f_{cd}^3 \cdot 10^{-3})] \cdot 10^{-5};$$

при цьому $\sigma_{cu} / f_{cd} = 1,333 - \varepsilon_{cu} / 3\varepsilon_{cR}$.

Автором запропоновано повну діаграму деформування бетону, яка описується поліномом п'ятого ступеня. На підставі фізичних передумов січний модуль при $\sigma_c = 0,3f_{cd}$ дорівнює E_{cm} , при $\varepsilon = \varepsilon_{cR}$; $\sigma_c = f_{cd}$ крива на всьому діапазоні від $\varepsilon = 0$ до $\varepsilon = \varepsilon_{cu}$ має вигляд:

$$\sigma_c = \sigma_{cR} \sum_{i=1}^5 a_i \left[\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cR}} \right]^i, \tag{2}$$

де σ_{cR} – максимальне напруження стискання бетону у вершині діаграми (рис. 2);

ε_c – поточне значення відносної деформації стискання;

ε_{cR} – середні максимальні відносні деформації при осьовому стисканні бетону;

a_i – коефіцієнти поліному, які характеризують механічні властивості бетону і визначаються з ряду передумов напружено-деформованого стану бетону.

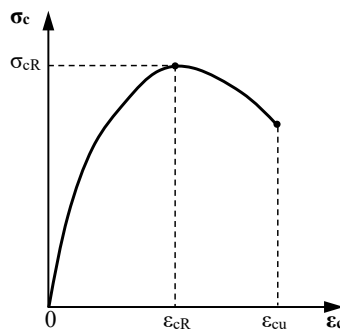


Рис. 2. Діаграма залежності між напруженнями і деформаціями у бетоні (за даними Бамбури А. М.)

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\sigma_c}{d\varepsilon_c} \Big|_{\varepsilon_c=0,3\sigma_{cR}/E_{cm}} &= E_{cm}; \\ \sigma_c \Big|_{\varepsilon_c=\varepsilon_{cR}} &= \sigma_{cR}; \\ \frac{d\sigma_c}{d\varepsilon_c} \Big|_{\varepsilon_c=\varepsilon_{cR}} &= 0; \quad \frac{d^2\sigma_c}{d\varepsilon_c^2} \Big|_{\varepsilon_c=\varepsilon_{cu}} = k; \\ \sigma_c \Big|_{\varepsilon_c=\varepsilon_{cu}} &= \beta\sigma_{cR}, \quad \text{де } (\sigma_{cu} / \sigma_{cR}) = \beta \end{aligned} \right\}$$

Приймаючи значення $\gamma = \varepsilon_{cu} / \varepsilon_{cR}$; $\beta = 1,1\varepsilon_{cR} / \varepsilon_{cu}$; $k = 4,68(\gamma - 1,23) - 5$ отримані такі залежності для визначення коефіцієнтів a_i :

При обробці експериментальних даних у розрахунках міцності значення σ_{cR} приймають рівними f_{cd} .

Поліном (2) з достатньою точністю описує практично будь-яку криву деформування бетону як при стисканні, так і при розтягу.

Технологічна пошкодженість залізобетонних конструкцій на мікро- і макрорівні та її вплив на міцнісні і деформативні характеристики бетонів і на роботу згинальних залізобетонних конструкцій останнім часом вивчалась у роботах Дорофєєва В. С., Пушкар Н. В., Зінченко Г. В. [6, 8, 10, 11] та інших [3, 4]. На основі експериментальних даних були отримані залежності впливу технологічної пошкодженості протягом життєвого циклу аж до стадії руйнування.

Формулювання мети дослідження

На підставі проведеного аналізу виникає необхідність описати основні залежності деформування бетону при квадратичному законі деформування на висхідній гілці діаграми і при двоквадратичному деформуванні на низхідній гілці діаграми $\sigma - \epsilon$; провести експериментальне обґрунтування двоквадратичного закону деформування бетону на низхідній гілці.

Викладення основного матеріалу дослідження

На основі аналізу власних експериментальних даних були отримані основні залежності при квадратичному законі деформування бетону на висхідній гілці (рис. 3) на основі двочленної залежності $\sigma_c = E_0\epsilon - E_m\epsilon^{m+1}$ при $m = 1$.

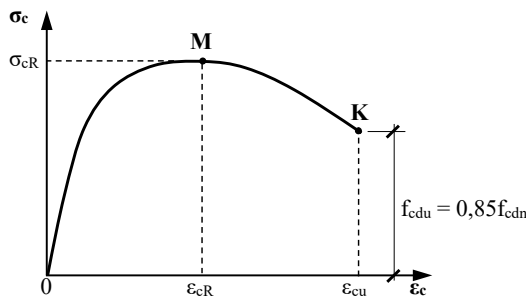


Рис. 3. Діаграма деформування бетону при однократному завантаженні

$$\sigma_c = E_0\epsilon - E_1\epsilon^2; \tag{3}$$

$$\sigma_c = f_{cdn} \left[2 \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cR}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cR}} \right)^2 \right]; \tag{4}$$

$$4 f_{cdn} E_1 = E_0^2; \tag{5}$$

$$\epsilon_{cR} = \frac{E_0}{2 E_1}; \tag{6}$$

$$\epsilon_{cR} = 2 \frac{f_{cdn}}{E_0}. \tag{7}$$

Також отримані основні залежності при двоквадратичному законі деформування бетону на низхідній гілці діаграми $\sigma - \epsilon$ бетону. Закон деформування:

$$\sigma_c = E_0\epsilon - E_1\epsilon^2 + E_2(\epsilon - \epsilon_{cR})^2. \tag{8}$$

Значення модуля E_2 отримали при $\epsilon = \epsilon_{cu}$ напруження $\sigma_c^{(k)} = 0,85f_{cdu}$. Тоді:

$$0,85f_{cdn} = E_0\epsilon - E_1\epsilon^2 + E_2(\epsilon - \epsilon_{cR})^2. \tag{9}$$

З (9) маємо:

$$E_2 = \frac{0,85f_{cdn} - (E_0\epsilon_{cu} - E_1\epsilon_{cu}^2)}{(\epsilon_{cu} - \epsilon_{cR})^2}. \tag{10}$$

З використанням функції Хевисайда

$$H(\epsilon - \epsilon_{cR}) = \left\|_{\epsilon_{cR}} = \begin{cases} 0 & \epsilon < \epsilon_{cR}, \epsilon_R \\ 1 & \epsilon > \epsilon_{cR}, \epsilon_R \end{cases}$$

записана універсальна формула деформування бетону у вигляді двоквадратичної залежності

$$\sigma_c = E_0\epsilon - E_1\epsilon^2 + H(\epsilon - \epsilon_{cR}) E_2(\epsilon - \epsilon_{cR})^2 \tag{11}$$

або

$$\sigma_c = E_0\epsilon - E_1\epsilon^2 + \left\|_{\epsilon_{cR}} E_2(\epsilon - \epsilon_{cR})^2. \tag{12}$$

Модуль E_2 визначається в залежності від складу бетону по випадкам, наведеним на рис. 4.

Для експериментального обґрунтування прийнятого закону деформування авторами була проведена серія експериментів для визначення E_0 , E_1 і E_2 при осьовому стисканні однократним короточасним завантаженням. Мета експериментів полягала в доведенні, що залежність $\sigma_c = E_0 \cdot \varepsilon - E_m \cdot \varepsilon^{m+1}$ є законом деформування бетону. Крім досліджень авторів були використані дослідження Узуна І. О.

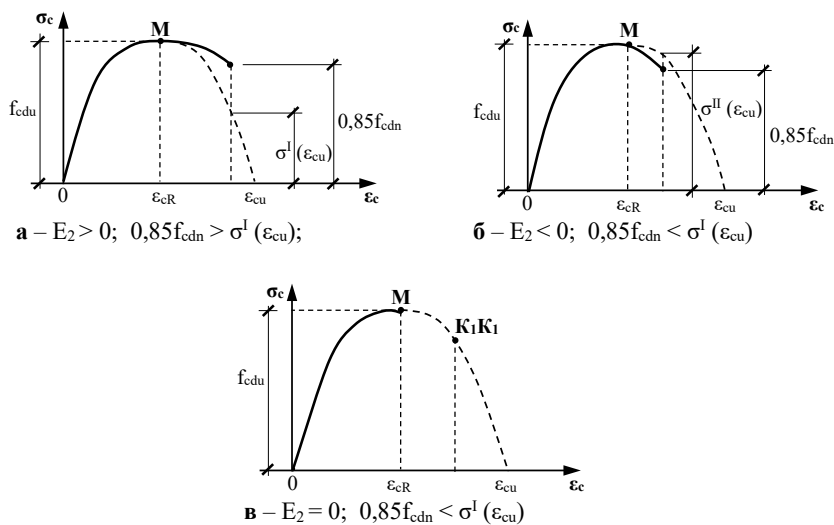


Рис. 4. Діаграми $\sigma_c - \varepsilon_c$ при різних значеннях E_2

Випробуванням на центральний стиск підлягали зразки-призми 10х10х40 см за стандартною методикою. Результати обробки експериментальних даних наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Марка призми	$E_0 \times 10^{-6}$, МПа	$E_1 \times 10^{-6}$, МПа	σ_u , МПа	$f_{cd,u} = E_0^2 / 4E_1$	$\varepsilon_{cR} \times 10^5 = 2f_{cd,u} / E_0$	$\varepsilon_{cR} \times 10^5 = 2\sigma_u / E_0$	$\varepsilon_{cR}^{ср} \times 10^5$
П1-1	15,8	4,74	11,3	13,1	166	143	155
П1-2	19,5	4,33	15,0	21,9	224	153	189
П1-3	25,0	8,2	17,6	19,0	152	141	147
П1-4	21,0	7,3	18,1	15,1	144	172	158
П1-5	17,0	3,2	19,4	23,7	272	228	250
П1-6	24,2	8,9	19,9	16,4	135	164	150
П1-7	26,0	7,5	21,8	22,5	173	168	171
П1-8	23,5	6,0	24,6	23,0	196	209	202
П1-9	29,4	8,6	26,8	25,3	172	182	177
П1-10	20,9	8,6	28,0	27,7	179	181	180
П1-11	29,3	7,8	28,3	27,5	187	193	190
П1-12	30,4	8,3	29,0	27,8	183	190	197
П2-1	25,8	7,7	21,5	21,5	168	168	168
П2-2	31,0	9,6	25,0	25,0	161	161	161
П2-3	28,5	7,9	25,0	25,7	180	180	180
П2-4	29,8	8,9	25,0	24,9	167	167	167
П2-5	23,5	9,1	29,0	29,0	178	178	178
П2-6	33,9	8,3	34,5	34,6	204	204	204
П3-1	31,8	9,9	22,4	25,6	162	140	151
П3-2	29,4	7,3	29,6	29,6	201	201	201
П3-3	31,7	7,6	32,6	33,0	209	206	208
П3-4	41,6	9,2	46,1	47,0	226	222	224
П3-5	41,9	8,6	50,8	51,0	243	242	243
П3-6	44,7	9,2	54,2	54,2	243	243	243

Механічні характеристики бетонів при двоквадратичному законі деформування при стисканні наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Клас бетону	$E_0 \times 10^{-6}$ МПа	$f_{cd,us}$ МПа	f_{cd} МПа	$\varepsilon_{cr} \times 10^5$	$\varepsilon_{cu} \times 10^5$	$E_1 \times 10^{-6}$, МПа	$E_2 \times 10^{-6}$, МПа
C8/10	18,0	7,5	6,0	83	390	10,80	10,66
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
C12/15	23,0	11,0	8,5	96	385	12,02	11,85
C16/20	27,0	15,0	11,5	111	379	12,15	11,83
C20/25	30,0	18,5	14,5	123	378	12,16	11,70
C25/30	32,5	22,0	17,0	135	372	12,0	11,37
C30/35	34,5	25,5	19,5	147	362	11,67	10,75
C32/40	36,0	29,0	22,0	161	357	11,17	10,02
C35/45	37,5	32,0	25,0	171	350	10,98	9,51
C40/50	39,0	36,0	27,5	185	345	10,56	8,49
C45/55	39,5	39,5	30,0	200	339	9,87	6,78
C50/60	40,0	43,0	33,0	215	333	9,30	4,75

Використавши отримані формули (12) можна визначити усі необхідні для розрахунків механічні характеристики бетонів (табл. 2). Отримана залежність $\sigma_c - \varepsilon_c$ на висхідній гілці діаграми при стисканні: $4f_{cdn}E_1 = E_0^2$.

Висновки

1. Виведена фундаментальна залежність між міцнісними та деформативними характеристиками бетонів на висхідній гілці діаграми $\sigma_c - \varepsilon_c$.
2. Запропоновані формули для двоквадратичного закону деформування бетону на низхідній гілці діаграми $\sigma_c - \varepsilon_c$.
3. Отриманий закон деформування бетону на всьому діапазоні завантаження у вигляді двоквадратичного закону, який включає деформаційні константи E_0 , E_1 і E_2 .
4. Отримано експериментальне обґрунтування двоквадратичного закону деформування бетону на базі випробування бетонних зразків.
5. Складена таблиця механічних характеристик бетонів при двоквадратичному законі деформування при стисканні.

Список використаної літератури

1. Бамбура А.Н. Расчёт железобетонных статически неопределимых систем с учётом реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры // Тез. докл. респ. науч.-тех. конференции «Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику». – Ч. 1. – Полтава, 1989. – С. 6-7.
2. Бамбура А.Н. Развитие методов оценки напряжённо-деформированного состояния и несущей способности железобетонных конструкций на основе реальных диаграмм деформирования материалов // Материалы первой всеукраинской научно-технической конференции «Научно-практические проблемы современного железобетона». – Киев, 1996. – С. 36-39.
3. Blikharskyu, Y., Selejdak, J., Kopiika, N., Vashkevych, R.: Study of concrete under combined action of aggressive environment and long-term loading. Materials 14(21), 6612 (2021). <https://doi.org/10.3390/ma14216612>.
4. Blikharskyu, Z., Sobol, K., Markiv, T., Selejdak, J.: Properties of concretes incorporating recycling waste and corrosion susceptibility of reinforcing steel bars. Materials 14(10), 2638 (2021).
5. Вахненко П.Ф. Современные методы расчета железобетонных конструкций на сложные виды деформаций. – К.: Будівельник, 1992. – 122 с.
6. Vitale Dorofeev, Hanna Zinchenko, Natalia Pushkar. The intinence of concrete structure on the destruction of reinforced concrete bended elements, 103–111 (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_13.
7. Dorofeyev Vitaliy and Pushkar Natalia. The bearing-capacity of precast beams with vertical contact plane // III International Scientific Conference “EcoComfort and current construction issues”, September 14-16, 2022. Lecture Notes in Civil Engineering // Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic National University, 2022. – P. 67-75.
8. Дорофеев В.С., Мироненко І.М., Пушкар Н.В. Вплив складу бетону на формування технологічної пошкодженості і фізико-механічні властивості // Матеріали конференції «Проблеми надзвичайних ситуацій». – Харків, 2022. – С. 59-60.
9. Дорофеев В.С., Пушкар Н.В. Влияние структуры конструкции на свойства материала и концентрацию напряжений на границе раздела матричного материала и включений / «Actual scientific research in the modern world», international science journal, Issue 7 (87), Pereiaslav, 2022. – P. 131-135.
10. Дорофеев В.С., Вировий В.М. Технологічна пошкодженість будівельних матеріалів і конструкцій. – Одеса: Місто майстрів, 1998. – 168 с.
11. Dorofeyev Vitaliy, Myronenko Igor and Pushkar Natalia. The Effect of Technological Damage on the Properties and Reliability of Construction Materials and Structures / Applied Mechanics and Materials (AMM) ISSN: 1662-7482, Vol. 908, pp 149-156, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 08.2022.

References

1. Bambura A.N. Raschet zhelezobetonnykh staticheskii neopredelimykh sistem s uchetom realnykh diagramm deformirovaniya betona i armatury // Tez. dokl. resp. nauch.-tekh. konferentsii «Sovershenstvovanie zhelezobetonnykh konstruksiy, rabotayushchikh na slozhnye vidy deformatsiy, i ikh vnedrenie v stroitelnyu praktiku. – Ch. 1. – Poltava, 1989. – S. 6-7.
2. Bambura A.N. Razvitie metodov otsenki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh konstruksiy na osnove realnykh diagramm deformirovaniya materialov // Materialy pervoy vseukrainskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Nauchno-prakticheskie problemy sovremennogo zhelezobetona». – Kiev, 1996. – S. 36-39.
3. Blikharsky, Y., Selejdak, J., Kopyika, N., Vashkevych, R.: Study of concrete under combined action of aggressive environment and long-term loading. *Materials* 14(21), 6612 (2021). <https://doi.org/10.3390/ma14216612>.
4. Blikharsky, Z., Sobol, K., Markiv, T., Selejdak, J.: Properties of concretes incorporating recycling waste and corrosion susceptibility of reinforcing steel bars. *Materials* 14(10), 2638 (2021).
5. Vakhnenko P.F. Sovremennye metody rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy na slozhnye vidy deformatsiy. – K.: Budivelnik, 1992. – 122 s.
6. Vitale Dorofeev, Hanna Zinchenko, Natalia Pushkar. The intinence of concrete structure on the destruction of reinforced concrete bended elements, 103–111 (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_13.
7. Dorofeyev Vitaliy and Pushkar Natalia. The bearing-capacity of precast beams with vertical contact plane // III International Scientific Conference “EcoComfort and current construction issues”, September 14-16, 2022. Lecture Notes in Civil Engineering // Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic National University, 2022. – P. 67-75.
8. Dorofyeyev V.S., Myronenko I.M., Pushkar N.V. Vplyv skladu betonu na formuvannya texnologichnoyi poshkodzhenosti i fizyko-mexanichni vlastyvoli // Materialy konferentsiyi «Problemy nadzvychajnyh sytuacij». – Xarkiv, 2022. – S. 59-60.
9. Dorofeev V.S., Pushkar N.V. Vliyanie struktury konstruksii na svoystva materiala i kontsentratsiyu napryazheniy na granitse razdela matrichnogo materiala i vklyucheniy / «Actual scientific research in the modern world», international science journal, Issue 7 (87), Pereiaslav, 2022. – P. 131-135.
10. Dorofyeyev V.S., Vyrovij V.M. Tehnologichna poshkodzhenist budivelnyh materialiv i konstrukcij. – Odesa: Misto majstriv, 1998. – 168 s.
11. Dorofeyev Vitaliy, Myronenko Igor and Pushkar Natalia. The Effect of Technological Damage on the Properties and Reliability of Construction Materials and Structures / *Applied Mechanics and Materials (AMM)* ISSN: 1662-7482, Vol. 908, pp 149-156, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 08.2022.