

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології  
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 13

Луцьк – 2020

У збірнику висвітлюються результати наукових досліджень будівельних матеріалів і конструкцій; технологій зведення та експлуатації будівель, інженерних і транспортних систем; теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам та методів розрахунку; сучасних тенденцій проектних рішень у будівництві; енергоефективних технологій у міському будівництві та господарстві.

Призначений для науковців, фахівців проектних установ і виробничих підприємств, докторантів, аспірантів, студентів закладів вищої освіти.

**Редакційна колегія:**

Головний редактор – **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ)  
Заступник редактора – **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., професор (Луцький НТУ)  
Відповідальний секретар – **Ротко С.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ)

**Азізов Т.Н.**, д.т.н., професор (УДПУ, Умань); **Андрійчук О.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Бабич Є.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Белятинський А.О.**, д.т.н., професор (НАУ, Київ); **Дробининець С.Я.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Жданюк В.К.**, д.т.н., професор (ХНАДУ, Харків); **Задорожнікова І.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Ільчук Н.І.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Карась Славомір**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Кислюк Д.Я.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Клименко Є.В.**, д.т.н., професор (ОДАБА, Одеса); **Кочкар'юв Д.В.**, д.т.н., доцент (НУВГП, Рівне); **Мікулич О.А.**, д.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Москалькова Ю.Г.**, к.т.н., доцент (БРУ, Білорусь), **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ "ЛП"); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківська політехніка, Польща); **Пасічник Р.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Пустюльга С.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (НТУ, Київ); **Самчук В.П.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Семенюк С.Д.**, д.т.н., професор (БРУ, Білорусь), **Синій С.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Сунак П.О.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Ужегов С.О.**, к.т.н., (Луцький НТУ); **Чапюк О.С.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Шишкін О.О.**, д.т.н., професор (КНУ, Кривий Ріг).

Зареєстрований Державною реєстраційною службою України (свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20340-10140Р від 31.05.2013).

Включений Міністерством освіти і науки до переліку наукових фахових видань України (категорія Б) за спеціальностями 113 – Прикладна математика; 122 – Комп'ютерні науки (наказ МОН України, № 409 від 17.03.2020 р.); 192 – Будівництво та цивільна інженерія (наказ МОН України, № 886 від 02.07.2020 р.).

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні Вченої ради Луцького НТУ (протокол № 10 від 25 червня 2020 р.).

**Адреса редакції:** 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький НТУ, кафедра будівництва та цивільна інженерії, e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com,  
<http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction>, телефон (0332) 26-24-60

## ВПЛИВ ДОБАВКИ ПОЛІПЛАСТ СП-3 НА МІЦНІСТЬ ВАЖКОГО БЕТОНУ

### EFFECT OF POLIPLAST SP-3 ADDITIVE ON THE STRENGTH OF HEAVY CONCRETE

Олексюк А.С., магістр, Ужегов С.О., к.т.н., Ужегова О.А., к.т.н., доц., Ротко С.В., к.т.н., доц., (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

Oleksiuk A.S., master, Uzhehov S.O., Ph.D. in Engineering, Uzhehova O.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Rotko S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Lutsk National Technical University, Lutsk)

*За допомогою системного аналізу з виконанням математичного моделювання і отриманням рівняння регресії досліджувався вплив на міцність бетону при стиску пластифікатора Поліпласт СП-3, який додавали у кількості 0,5%, 1,0% або 1,5% від витрати цементу. Разом з тим, досліджувався вплив ще двох факторів: водоцементного співвідношення і температурного режиму твердіння бетону. За рівнянням регресії побудовані поверхні відгуку, які демонструють залежність міцності важкого бетону при стиску від зазначених факторів.*

*The compressive strength of heavy concrete, as its main mechanical characteristic, is influenced by many factors. It is possible to determine the degree of influence of certain factors using the system analysis with performance of mathematical modeling and getting of the regression equation.*

*In this article uses the Box-Behnken design, which is often exploited in the study of concrete technology. The purpose of the mathematical method of experiment planning was to determine a mathematical model of this research with a record of the function that will be decisive for the result of the research, based on certain initial conditions. A three-factor experiment was planned, where individual factors did not correlate with each other, and the optimization parameter was the compressive strength of heavy concrete. The effect of Poliplast SP-3 additive, which was added in the amount of 0.5%, 1.0% or 1.5% of cement consumption, was experimentally investigated. At the same time, the influence of two more factors was studied: the water-cement ratio (0.42, 0.43 and 0.44) and the temperature of concrete hardening (keeping the experimental samples of concrete in the steaming chamber for 5 hours, keeping other samples within 10 hours, as well as curing of concrete samples under normal conditions without heat treatment).*

*Based on the experiments, the coefficients of the regression equation were determined statistically. When tested, they showed satisfactory reproducibility of the obtained experimental data - the Cochran's test was  $G = 0.125$ , which is less than the*

tabular value of 0.296. The adequacy of the equation is confirmed by Fisher criterion  $F = 2.13$ , which is less than the tabular  $F(0.05; f_{ad}; f_y) = 2.23$ .

According to the obtained regression equation were modelled the response surfaces, which demonstrate the dependence of the compressive strength of heavy concrete on the content of additive, water-cement ratio, temperature of concrete hardening.

*Ключові слова:* важкий бетон, міцність, трифакторний експеримент, рівняння регресії, поверхні відгуку.

*Key words:* heavy concrete, strength, three-factor experiment, regression equation, response surfaces.

На міцність важкого бетону при стиску, як головну його механічну характеристику, впливає багато чинників. Визначити ступінь впливу певних факторів можна за допомогою системного аналізу з виконанням математичного моделювання і отриманням рівняння регресії.

У роботі виконувалось дослідження впливу пластифікатора на міцність бетону методом математичного планування експерименту. Разом з кількістю доданого пластифікатора (у % до маси цементу) варіювалися ще деякі фактори: водоцементне співвідношення та температурний режим твердіння бетону. Таким чином, планувався трифакторний експеримент, де окремі фактори не мали між собою кореляції, а параметром оптимізації була межа міцності бетону при стиску.

Отже, факторами впливу прийнято:  $X_1$  – вміст пластифікатора у % до маси цементу;  $X_2$  – водоцементне співвідношення, В/Ц;  $X_3$  – тривалість термообробки у пропарювальній камері.

Для побудови план-матриці експерименту виконано кодування факторів (табл. 1).

Таблиця 1

Умови планування експерименту

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вигляд	Кодований вигляд	-1	0	+1	
Вміст пластифікатора, %	$x_1$	0,5	1,0	1,5	0,5
Водоцементне співвідношення, В/Ц	$x_2$	0,42	0,43	0,44	0,01
Час пропарювання, годин	$x_3$	0	5	10	5

Усі фактори мають високий ступінь управління, що дає можливість вибрати заданий рівень варіювання: на основному рівні планування (0), на нижньому рівні (-1) і на верхньому рівні (+1).

Всі параметри дослідних зразків відповідали матриці плану експерименту. У кожній точці плану виготовляли по три зразки, а на основному рівні – шість зразків.

Для виготовлення бетонної суміші було використано: цемент М300, виробник – ВАТ Івано-Франківськ-цемент, с. Ямниця; кварцовий пісок з кар'єру с. Носачевичі Рожищенського району Волинської області. Лабораторним шляхом визначені показники: вологість піску 7,15%; вміст пилюватих і глинистих часток 6,8%; модуль крупності  $M_{кр} = 1,54$ . Висновок: пісок дрібний з високим вмістом глини, тому в лабораторії додатково було здійснене відмулювання піску;

щебінь використано з Вирівського щебеневого кар'єру. Щебінь сірий, кубовидний. Просівом крізь сита встановлено: фракція 5-25.

Бетонну суміш складу 1:1,45:2,55 готували у бетонозмішувачі, формування зразків (у вигляді кубів зі стороною 150 мм) з ущільненням суміші здійснювали на вібростолі. Твердіння зразків відбувалося відповідно до матриці плану: одна частина кубів тверділа за нормальних умов – у ванні з гідравлічним замком, іншу частину бетонних кубів поміщали у пропарювальну камеру і витримували там 5 годин, решта кубів залишалася в пропарювальній камері ще на 5 годин. Для пропарювання зразків дотримувались встановленого температурного режиму камери (табл. 2).

Таблиця 2

Температурний режим у пропарювальній камері

Год.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t°C	30	39	42	45	53	60	65	70	71	72

Після пропарювання всі зразки витримували у ванні з гідравлічним замком аж до випробування на стиск. Випробування кубів виконували у віці 28 діб на пресі П-50 (рис.1).



Рис. 1. Випробування зразків на пресі

При випробуванні зразків для кожного з них було встановлене руйнівне зусилля, за яким була визначена міцність на стиск, а також їх середні значення  $\bar{y}_u$  (табл. 3).

Таблиця 3

Матриця плану та вихідні експериментальні дані

Точки плану	Матриця планування			Вихідні параметри, $f_{ck}$ , МПа			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$f_{ck1}(y_{u1})$	$f_{ck2}(y_{u2})$	$f_{ck3}(y_{u3})$	$f_{cm}(\bar{y}_u)$
1	+1	+1	0	36.8	36.7	36.7	36.7
2	+1	-1	0	43.7	43.6	43.6	43.6
3	-1	+1	0	35.1	35.0	35.1	35.1
4	-1	-1	0	43.1	43.0	43.2	43.1
5	+1	0	+1	43.1	43.2	43.1	43.1
6	+1	0	-1	41.2	41.3	41.3	41.3
7	-1	0	+1	41.2	41.1	41.1	41.1
8	-1	0	-1	38.8	38.9	38.9	38.9
9	0	+1	+1	38.3	38.4	38.3	38.3
10	0	+1	-1	35.5	35.4	35.4	35.4
11	0	-1	+1	49.4	49.3	49.3	49.3
12	0	-1	-1	46.1	46.0	46.0	46.0
13	0	0	0	42.6	42.5	42.5	42.5
14	0	0	0	42.4	42.6	42.5	

На основі матриці плану Бокса-Бенкена було визначено розрахункові параметри та обчислені коефіцієнти при лінійних членах, квадратичних членах і взаємодіях. Коефіцієнти рівняння регресії визначали за формулами (2.48)...(2.51) посібника [5].

Наступним етапом є перевірка відтворюваності отриманих дослідних даних. Дисперсію  $S_u^2$  знаходили за формулою:

$$S_u^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (y_{ui} - \bar{y}_u)^2,$$

де  $i$  – номер повторності;  $y_{ui}$  – вихідний параметр при  $i$ -ій повторності.

Дисперсія відтворюваності за [5] становила:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2 = 0,16/14 = 0,01143 \text{ МПа}^2.$$

Критерій Кохрена за [5]:  $G = S_{u,max}^2 / \sum_{u=1}^N S_u^2 = 0,02/0,16 = 0,125$ , що є

меншим від табличного значення  $0,296$ , отже, робимо висновок, що процес відтворюваний.

Табличне значення критерію Стьюдента  $t = 2,05$  [5, с. 153-154] при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  ( $P = 5\%$ ) і  $f_y = N(r - 1) = 14(3 - 1) = 28$ .

Оскільки процес відтворюваний, то можна записати рівняння регресії з кодованими факторами:

$$y = 42.5 + 0.65 x_1 - 3.65 x_2 + 1.02 x_3 - 1.47 x_1^2 - 1.61 x_2^2 + 1.34 x_3^2 + 0.138 x_1 x_2 - 0.05 x_1 x_3 - 0.05 x_2 x_3 .$$

Адекватність цього рівняння перевіряють за критерієм Фішера  $F$ . Адекватність буде властива, коли виконуватиметься нерівність:

$$F = S_{ad}^2 / S_y^2 < F(0,05; f_{ad}; f_y),$$

де  $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності, яку обчислюють за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2 ,$$

тут  $y$  – розрахункове значення відгуку в  $u$ -тому досліді;  $f_{ad}$  – число ступенів свободи дисперсії адекватності  $f_{ad} = n - k - 1$ ;  $k$  – число факторів, в даному випадку  $k = 3$ ;  $f_y$  – число ступенів свободи дисперсії відтворюваності  $f_y = n(m_0 - 1)$ ;  $m_0$  – число повторностей, в даному випадку  $m_0 = 3$ ;

Табличне значення критерію Фішера  $F$  при числі ступенів свободи дисперсії адекватності  $f_{ad} = n - k - 1 = 14 - 3 - 1 = 10$  і при числі ступенів свободи дисперсії відтворюваності  $f_y = n(m_0 - 1) = 14(3 - 1) = 28$  становить  $F(0,05; f_{ad}; f_y) = 2,23$ .

Для досліді №1 відгук

$$y^{(1)} = 42.5 + 0.65 x_1 - 3.65 x_2 + 1.02 x_3 - 1.47 x_1^2 - 1.61 x_2^2 + 1.34 x_3^2 + 0.138 x_1 x_2 - 0.05 x_1 x_3 - 0.05 x_2 x_3 . =$$

$$= 42.5 + 0.65 \times (+1) - 3.65 \times (+1) + 1.02 \times 0 - 1.47 \times (+1)^2 - 1.61 \times (+1)^2 + 1.34 \times 0^2 + 0.138 \times (+1) \times (+1) - 0.05 \times (+1) \times 0 - 0.05 \times (+1) \times 0 = 36.558 .$$

для інших дослідів:  $y^{(2)} = 43.583$ ;  $y^{(3)} = 35.083$ ;  $y^{(4)} = 43.441$ ;  $y^{(5)} = 43.099$ ;  $y^{(6)} = 41.265$ ;  $y^{(7)} = 41.359$ ;  $y^{(8)} = 39.045$ ;  $y^{(9)} = 38.251$ ;  $y^{(10)} = 35.511$ ;  $y^{(11)} = 49.351$ ;  $y^{(12)} = 46.011$ ;  $y^{(13)} = y^{(14)} = 42.5$ .

Відповідне значення  $(y - \bar{y}_u)^2$  для першого досліді  $(36.558 - 36.7)^2 = 0,02016$ ; аналогічно для досліді №2  $0,00029$ ; для досліді №3  $0,00029$ ; для досліді №4  $0,11628$ ; для досліді №5  $0,000001$ ; для досліді №6  $0,00122$ ; для досліді №7  $0,06708$ ; для досліді №8  $0,02103$ ; для досліді №9  $0,0024$ ;

для досліді №10 **0,01232**; для досліді №11 **0,0026**; для досліді №12 **0,00012**; для досліді №13 **0,0**; для досліді №14 **0,0**.

Дисперсія адекватності

$$s_{ad}^2 = \frac{1}{n-k-1} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2 = \frac{1}{10} (0,02016 + 0,00029 + 0,00029 + 0,11628 + 0,000001 + 0,00122 + 0,06708 + 0,02103 + 0,0024 + 0,01232 + 0,0026 + 0,00012) = 0,2438/10 = 0,02438.$$

$$s_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n s_u^2 = \frac{1}{14} 0,16 = 0,011428 \text{ МПа}^2.$$

Отже, при дисперсії адекватності  $s_{ad}^2 = 0,02438$ ; дисперсії відтворюваності  $s_y^2 = 0,011428$  розрахункове значення критерію Фішера становитиме:  $F = \frac{s_{ad}^2}{s_y^2} = \frac{0,02438}{0,011428} = 2,13$ , який менший від табличного значення  $F(0,05; f_{ad}; f_y) = 2,23$ , отже, робимо висновок, що рівняння регресії адекватне.

За рівнянням регресії побудовані поверхні відгуку (рис. 2, 3, 4).

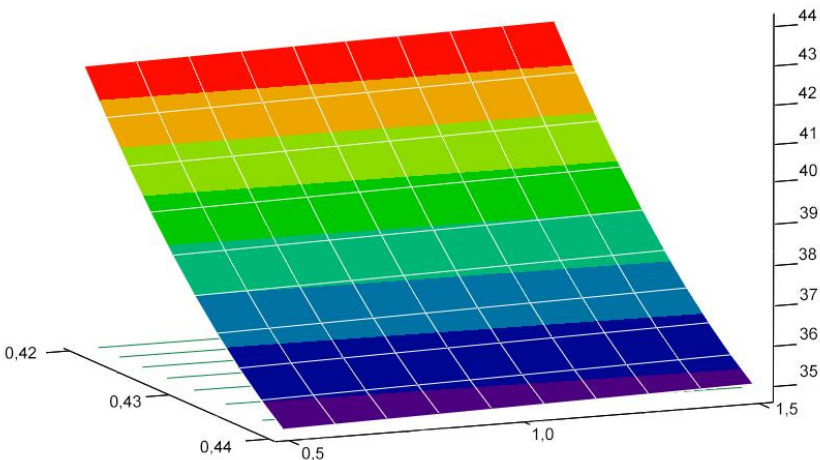


Рис. 2. Залежність міцності бетону при стиску від водоцементного співвідношення та вмісту пластифікатора



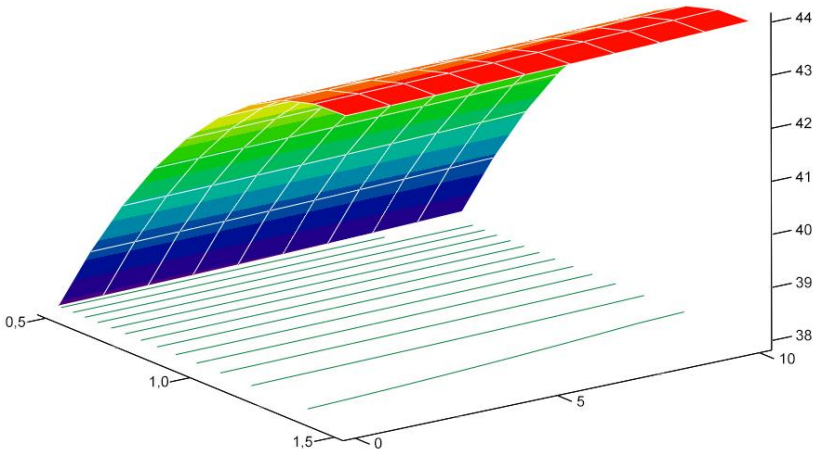


Рис. 3. Залежність міцності бетону при стиску від вмісту пластифікатора і часу пропарювання

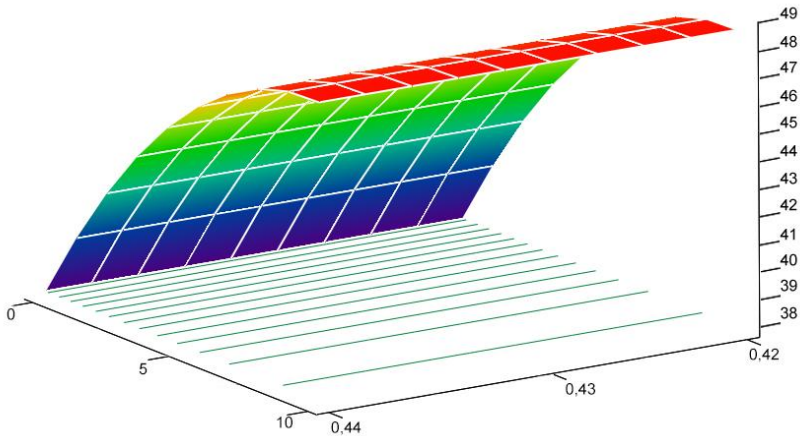


Рис. 4. Залежність міцності бетону при стиску від часу пропарювання та водоцементного співвідношення

**Висновки.** Дослідження показали, що введення добавки Поліпласт СП-3 до складу суміші в кількості 0,5...1,5% від маси цементу збільшує міцність бетону на 15-24%. При додаванні Поліпласт СП-3 в кількості 1%, при В/Ц = 0,42 та витримуванні протягом 10 годин у пропарювальній

камері був отриманий бетон, який показав у віці 28 діб міцність при стиску 49,3 МПа, що більше на 37,7% у порівнянні з контрольним складом.

#### **References**

1. DSTU B V.2.7-171:2008. Budivelni materialy. Dobavky dlia betoniv i budivelnykh rozchyniv. Zahalni tekhnichni umovy (EN 934-2:2008, NEQ).
2. DSTU B V.2.7-171:2008 (elektronnyi resurs) - <http://document.ua/dobavki-dlja-betoniv-i-budivelnih-rozchyniv.-zagalni-tehnich-nor17007.html>.
3. DSTU B V.2.7-69-98 (ГОСТ 30459-96) Dobavky dlia betoniv. Metody vyznachennia efektyvnosti (elektronnyi resurs) - <http://www.stroynote.com.ua/construction-regulations/document-848.html>.
4. DSTU B V.2.7-65-97 Dobavky dlia betoniv i budivelnykh rozchyniv. Klasyfikatsiia (elektronnyi resurs) - <http://proxima.com.ua/dbn/articles.php?clause=413>.
5. Dvorkin L.Y. Rozv'язuvannia budivelno-tekhnologichnykh zadach metodamy matematychnoho planuvannia eksperymentu / L.Y. Dvorkin, O.L. Dvorkin, V.V. Zhytkovskyi: Navch. posibnyk. Rivne: NUVHP, 2011. – 174 s.

#### **Список використаної літератури**

1. ДСТУ Б В.2.7-171:2008. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ).
2. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 (електронний ресурс) - <http://document.ua/dobavki-dlja-betoniv-i-budivelnih-rozchyniv.-zagalni-tehnich-nor17007.html>.
3. ДСТУ Б В.2.7-69-98 (ГОСТ 30459-96) Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності (електронний ресурс) - <http://www.stroynote.com.ua/construction-regulations/document-848.html>.
4. ДСТУ Б В.2.7-65-97 Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Класифікація (електронний ресурс) - <http://proxima.com.ua/dbn/articles.php?clause=413>.
5. Дворкін Л.Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, В.В. Житковський: Навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2011. – 174 с.

## З М І С Т

Азізов Т.Н., Орлова О.М.	Інженерний спосіб визначення жорсткості при крученні залізобетонних елементів двотаврового перерізу з нормальними тріщинами.....	3
Андрійчук О.В., Кислюк Д.Я., Нінічук М.В.	Визначення несучої здатності нормальних перерізів комбіновано-армованих сталевібробетонних згинальних елементів.....	15
Вуків N.Z., Yasniy P.V., Iasnii V.P.	Modeling of mechanical behavior of reinforced concrete beam reinforced by the shape memory alloy insertion using finite elements method.....	24
Gomon S.S.	Fluence of age factor on main strength and deformative properties of timber.....	35
Коломійчук Г.П., Майстренко О.Ф., Коломійчук В.Г., Коломійчук В.Г.	Конструктивні рішення сучасних великопролітних трубобетонних аркових мостів.....	42
Кузьмич Р.В., Самчук В.П., Кислюк Д.Я., Савенко В.І.	Проектування енергоефективних будівельних конструкцій на основі числового моделювання температурних мостів.....	49
Олексюк А.С., Ужегов С.О., Ужегова О.А., Ротко С.В.	Вплив добавки Поліпласт СП-3 на міцність важкого бетону.....	56
Панасюк Я.І., Боярчук Б.А., Талах Л.О., Процюк В.О.	Визначення максимальної щільності ґрунту .....	64
Пахолук О.А., Чапюк О.С.	Забезпеченість українського ринку будівельної техніки вантажопідйомним обладнанням та його сервісним обслуговуванням.....	71

Плахотний Г.Н., Чернева О.С.	Застосування попереднього напруження для підвищення жорсткості та стійкості споруди.....	86
Ротко С.В., Швабюк В.В., Зубовецька Н.Т., Ужегова О.А., Гераськін О.О.	До проблеми уточнення рівнянь динаміки ортотропних оболонок із урахуванням деформацій поперечного зсуву та обтиснення.....	92
Талах Л.О., Шимчук О.П., Процюк В.О., Семерей А.С., Панасюк Я.І.	Металеві конструкції в сучасному будівництві.....	104
Тулашвілі Ю.Й., Кошелюк В.А.	Комп'ютерний аналіз поведінки структурно-неоднорідних матеріалів.....	112
Чапюк О.С., Гришкова А.В., Кислюк Д.Я., Пахолук О.А., Філіпчук С.В.	Збільшення зчеплення бетону зі склокомпозитною арматурою за рахунок покриття спеціальними речовинами, як варіант оптимізації виробничої бази будівництва.....	121
Черних О.А., Соколенко В.М.	Досвід застосування сучасних інформаційних технологій у навчальному процесі в СНУ ім. В. Даля .....	128
Olena Chernieva, Andrzej Wojnar, Sara Pogan	The 3DP – three-dimensional printing – is it a real prospect of automating the building processes?.....	140

Наукове видання

**Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 13**

Верстка С.В. Ротко

Редактор В.І. Шваб'юк

Підписано до друку 25 червня 2020 р. Формат 60 × 84 1/16.  
Папір офсетний

Гарнітура Times New Roman. Друк трафаретний.  
Умовн.друк.арк. 9,75. Тираж 100 пр. Зам. №\_\_

Віддруковано ІВВ Луцького НТУ, 43018, м.Луцьк, вул. Львівська, 75