

**Starkova O.V., Bondarenko D.O., Lytvynenko E.M., Merlak O.V. SOFTWARE MODULE FOR CHOOSING UNDERGROUND UTILITY NETWORKS RENOVATION METHOD.** Until recently are focused on the problem of advancing the efficiency of management by strategically significant enterprises of the state, such as enterprises and organizations that are involved in the operation of land infrastructure. The authors proposed the automated vibrating system to the method of updating underground engineering fences, based on an algorithm that correlates the parameters of the link with the characteristics of the method. For such a choice, a quick and early description of the method of renewal was described by the deputy director. Analogous automated systems for the distribution of specific tasks on the external market are not visible. The basic principles, methodological and software tools of the vibration-based method of updating the ground-level engineering communities, proposed by the authors earlier, laid the basis for the software module for the vibration of the rational schemes for updating the ground-level engineering communities. The authors described a functional model for a complex of tasks, which is presented in the UML diagrams of the test, an analysis of the subject area was carried out, which allowed describing the input and output data for the robotic system. On the basis of the analysis of the subject area, the object-oriented design of the system is prompted by the model. A model has been devised for reconverting the possibilities of storing the same method as the method for reconverting the differences in relation to the parameters of the enclosing ones, given by the method. The software module is implemented in the Delphi software middle. The result of the re-adjustment of the pipe to the pipeline was made according to the parameters, diameter, material and material, as well as the recommended methods of updating.

**Key words:** software module, method of renewal, channeling collector, site to the pipeline.

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-103-1-126-134

УДК 624.012:53.09

**Фомін С.Л., Бондаренко Ю.В., Бутенко С.В., Колесніков С.М.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури  
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [sfomin@ukr.net](mailto:sfomin@ukr.net), [bonya8947@gmail.com](mailto:bonya8947@gmail.com),  
[sybusan87@gmail.com](mailto:sybusan87@gmail.com), [555ksn555@gmail.com](mailto:555ksn555@gmail.com); [orcid.org/0000-0001-9146-0464](https://orcid.org/0000-0001-9146-0464),  
[orcid.org/0000-0003-4690-0234](https://orcid.org/0000-0003-4690-0234), [orcid.org/0000-0002-6083-7668](https://orcid.org/0000-0002-6083-7668), [orcid.org/0000-0002-2090-9647](https://orcid.org/0000-0002-2090-9647))*

### **ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОТРИМАННЯ ДІАГРАМ «НАПРУЖЕННЯ-ДЕФОРМАЦІЇ» ДЛЯ БЕТОНУ, ЩО ПРАЦЮЄ ПРИ ПОЖЕЖІ ТА В УМОВАХ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР**

Стаття присвячена проблемам експериментального отримання повної діаграми напруження деформації для бетону, що працює в умовах пожежі та підвищених температур. Наведено досвід такого виду випробувань з інших країн та підходи до таких експериментальних випробувань. Розглянуто проблеми нагрівання зразка бетону перед такими випробуваннями та жорсткості силової частини випробувальної установки. Виконано моделювання та розрахунки, що допомагають вирішити такого роду проблеми випробувань.

**Ключові слова:** температурна діаграма «напруження-деформації», експериментальне випробування бетону, установка для випробування бетону при підвищених температурах.

**Вступ.** В сучасному будівництві є стійкою тенденція до збільшення поверховості будівель, особливо адміністративного й житлового призначення. Основна частина таких будівель будується за каркасно-монолітною схемою в основі якої лежить каркас з монолітного залізобетону. При цьому будівля має задовольняти не тільки вимогам за міцністю, жорсткістю та стійкістю, але й вимогам за вогнестійкістю під дією пожежі. Варто зазначити, що бетон працює в умовах підвищених температур не тільки в умовах пожежі, також існують технологічні та виробничі споруди, де бетон працює при підвищених температурах майже протягом всього життєвого циклу споруди. Сюди відносяться такі споруди як коксові батареї, доменні печі, повітрянагрівачі, вагранки для плавки чавуну та ін. Це потребує детального вивчення механічних властивостей конструкційних будівельних матеріалів при підвищених температурах. Основним матеріалом для такого типу будівель є, безумовно, бетон. Механічні властивості бетону при підвищених температурах містяться в нормах проектування [1, 2] і, своєю чергою, ці дані успадкували норми проектування на

вогнестійкість для лінійних конструкцій, таких як балки [3] та колони [4]. Повнішу інформацію про механічні властивості будь-якого матеріалу дає повна діаграма «напруження-деформації» цього матеріалу. Як показано в останніх роботах [5, 6] співробітників кафедри залізобетонних конструкцій ХНУБА, повна діаграма «напруження-деформації» бетону при підвищених температурах не є точною, і потребує більш ретельного вивчення та дослідження. Одним з основних методів дослідження механічних властивостей бетону при підвищених температурах, що може бути використаний для цього, є експериментальний.

Мета даної статті – висвітлення результатів експериментального отримання повної діаграми напруження деформації для бетону, що працює в умовах пожежі та підвищених температур.

**Матеріали і методи досліджень.** Бетон належить до матеріалів, діаграма «напруження-деформації» яких складається з двох гілок: висхідної та низхідної (рис. 1).

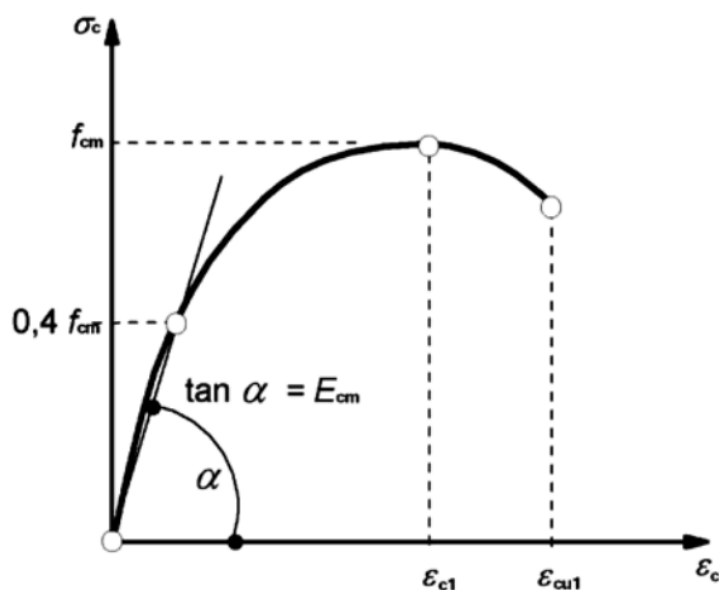


Рис. 1. Діаграма «напруження-деформації» для бетону згідно з нормами [1]

З отриманням висхідної гілки діаграми «напруження-деформації» для бетону при нормальних температурах особливих проблем не виникає – це можливо зробити на звичайних лабораторних пресах. В цьому випадку значно спрощено вимірювання як деформацій зразку бетону, так і навантажень.

Складнішою задачею є отримання низхідної гілки діаграми «напруження-деформації» для бетону, оскільки звичайний лабораторний прес для випробування бетону має здатність накопичувати потенціальну енергію у своїх елементах, таких як силова рама, гідравлічний циліндр тощо. Далі, під час випробування, після проходження точки  $f_{cm}$ , потенціальна енергія, що була запасена в елементах установки передається зразку бетону і, своєю чергою, руйнує його [7, 8]. Ця задача додатково ускладнюється необхідністю нагрівання зразка бетону перед випробуванням.

Слід зазначити, що існує думка [9] про те, що для отримання максимальних деформацій в бетоні, значно більших за  $\epsilon_{cu1}$ , в перерізі необхідно створити градієнт деформацій. В цьому випадку частини перерізу будуть знаходитись на різних стадіях деформації або на різних точках кривої діаграми «напруження-деформації». При цьому буде відбуватися перерозподіл напружень в перерізі й проходження точки  $f_{cm}$  буде максимально плавним. Типовим прикладом градієнту деформацій в перерізі є деформації в стиснутій зоні бетону балки, що згинається.

Важливою частиною експериментального дослідження є нагрівання зразка бетону для випробувань. По-перше, потрібно нагріти його не перевищивши температуру випробувань, точніше, не перегрівши поверхневі ділянки зразку, оскільки з нагріванням властивості бетону змінюються та є незворотнім процесом [10] і випробування буде некоректним. Також необхідно повністю прогріти зразок бетону до його внутрішньої частини. По-друге, є необхідним підтримувати температуру постійною під час випробувань.

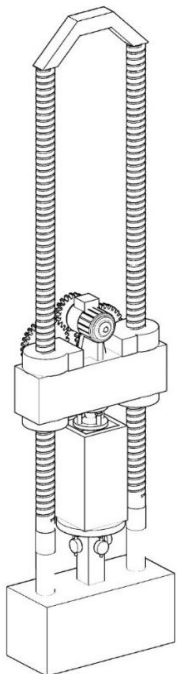
Так, наприклад, в патенті США [11] установка для температурних випробувань бетону розташовується в кліматичній камері. Це дає стабільність температури, компенсацію всіх температурних розширень, але, своєю чергою, обмежує максимальну температуру випробувань.

В установці, запатентованій в Японії [12], нагрівання зразка бетону відбувається разом з притискними засобами для забезпечення рівномірного нагрівання. Що також обмежує максимальну температуру експериментальних випробувань.

В патентах Китаю [13-15] зразок бетону нагрівається в печі, притискні засоби також нагріваються разом зі зразком бетону. А з іншої сторони притискні засоби охолоджуються для нерозповсюдження нагрівання далі. Слід зауважити, що при цьому зразок в установці знаходиться в горизонтальному положенні.

В Україні прийняті норми ДСТУ Б В.2.7-217:2009 [16], що регулюють випробування зразків бетону на міцність, в тому числі і при умовах підвищених температур. В нормах описані вимоги та методики випробувань, що необхідно враховувати та дотримуватись при такого виду випробуваннях. Згідно з ДСТУ зразок бетону має випробовуватись вертикально, на відміну від випробувань, описаних в патентах Китаю.

**Результати дослідження.** Враховуючи вищенаведену інформацію, на кафедрі залізобетонних та кам'яних конструкцій ХНУБА було прийняте рішення про побудову установки для випробування зразків бетону у вигляді призми з основою 100 мм×100 мм та висотою 400 мм (рис. 2). При цьому враховувався міжнародний досвід таких випробувань та вимоги чинних норм.



а



б

Рис. 2. Установка для отримання діаграм «напруження-деформація» для бетону, що працює при пожежі та в умовах підвищених температур: а – ескіз установки, б – фото установки

Установка для отримання повної діаграми «навантаження-деформації» бетонних зразків при нормальних і підвищених температурах складається з металевої основи, на яку встановлено силові гвинти діаметром 80 мм. На гвинтах нарізана різьба, по якій переміщується траверса. Траверса має у своєму складі дві передачі «гвинт-гайка», дві черв'ячні передачі, що синхронізовані між собою за допомогою зубчастих коліс. Переміщення траверси може відбуватися як за допомогою електричного приводу, так і в ручному режимі. Бетонний зразок, що випробовується, встановлюється між металевою основою та шарнірним вузлом. Для створення підвищених температур установка має піч потужністю 10 кВт. Для компенсації нерівномірності деформацій зразка під час випробувань установка має шарнірний вузол, що складається з двох сталевих опорних пластин, між якими встановлено сталеву кулю й регульовальні болти. За допомогою затяжки болтів регулюється рівномірність деформацій бетонного зразка під час стиснення по одному болту на кожному стороні.

Вимірювання деформацій зразка відбувається з чотирьох сторін за допомогою цифрових індикаторів, які зв'язані з бетонним зразком за допомогою штанг. Штанги розміщені в просторі між зразком та електричною піччю. Вимірювання навантаження відбувається за допомогою двох тензомостів, кожний з яких складається з чотирьох тензодатчиків. Тензодатчики приклеєні на гладку частину гвинтів. Тобто, вимірювання навантаження відбувається через вимірювання деформації гвинтів. Калібрування вимірювання навантаження відбувається за допомогою динамометра ДОС-50, який встановлюється в установку замість бетонного зразка. Такий спосіб вимірювання навантаження дозволяє не включати в силову схему установки додаткові динамометри або інші вимірювальні прилади, оскільки вони стають додатковими джерелами накопичення потенціальної енергії деформації в елементах установки під час випробувань.

Нагрівання зразка бетону має відбуватись в печі муфельного типу [17]. Форма печі – вертикальна, електричні нагрівальні елементи розташовані в стінках печі, нижня та верхня сторони відсутні. Нагрівання зразка регулюється електронним контролером за допомогою датчика температури (термопари) на поверхні зразка бетону та додатково контролюється двома додатковими термопарами.

Моделювання нагрівання зразка бетону в програмному комплексі ANSYS (рис. 3) показує, що нагрівання зразка відбувається від вертикальних стінок до середини зразка з тепловтратами через верхню та нижню сторони.

При цьому можливо виділити декілька стадій нагрівання. Перша стадія – початкова, відбувається прогрів верхніх шарів зразку, температура всередині зразка не змінюється. На другій стадії прогріву тепло доходить до середини зразку, але через втрати тепла верхній та нижній торці зразка будуть недогрітими та матимуть меншу температуру. На третій стадії нагрівання зразок буде повністю прогрітим, але верхній та нижній торці залишаться недогрітими. Третя стадія характеризується встановленням стаціонарного режиму теплопередачі. В результаті моделювання отримано час повного прогрівання зразка бетону 100×100×400 мм до необхідної температури (таблиця 1).

В цьому випадку можливе не зовсім коректне руйнування зразка бетону, оскільки через тепловтрати зразок прогрітий нерівномірно й непрогріті частини зразка є більш міцними за основну частину зразка, тому ці частини при стисненні, працюючи як клин, можуть розколювати основну частину зразка бетону. При цьому отримана діаграма «напруження-деформації» для бетону може виявитись заниженою.

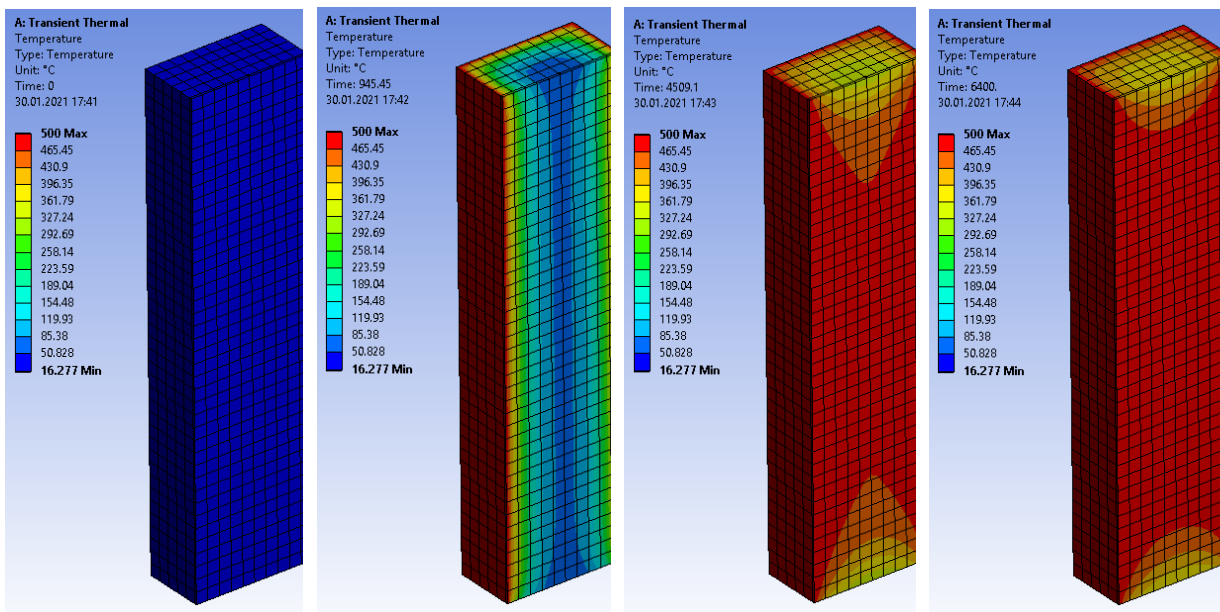


Рис. 3. Моделювання нагрівання зразка бетону в печі установки для випробувань (показано вертикальний переріз зразка): а – початковий стан; б – процес нагрівання (перша стадія нагрівання); в – прогрів середини зразка бетону (друга стадія нагрівання); г – встановлення стаціонарного режиму (третья стадія нагрівання)

Таблиця 1 – Результати моделювання нагрівання зразка бетону 100×100×400 мм до необхідної температури

Необхідна температура нагрівання зразка бетону, °C	Час прогріву середини зразка до необхідної температури (початок другої стадії нагріву), хв	Час встановлення стаціонарного режиму (початок третьої стадії нагрівання), хв	Температура зразка на верхньому та нижньому торцях, °C	Час виходу печі на робочий режим, хв
100	68	83	77	2
200	69	90	148	4
300	70	94	221	6
400	72	100	295	9
500	75	102	365	12
600	76	105	443	16
700	79	109	514	20
800	82	112	618	25
900	86	114	662	31
1000	92	118	737	40

**Обговорення результатів.** Як вказувалось раніше, при випробуваннях зразків бетону деформативність силової частини установки має вирішальне значення для отримання низхідної гілки діаграми «напруження-деформації». Потенціальна енергія деформації, яку запасують в собі частини випробувальної установки, пропорційна квадрату деформації. тобто при двократному збільшенні деформації кількість збереженої енергії деформації збільшиться в чотири рази.

Є очевидним, що сумарні деформації випробувальної установки мають бути на порядок меншими за деформації зразка бетону 100×100×400 мм. В таблиці 2 наведені

розрахунки деформації зразків бетону 100×100×400 мм різних класів та відповідно необхідні максимальні деформації випробувальної установки.

Таблиця 2 – Розрахунки деформації силової частини установки для різних класів бетону

Показник	Клас міцності бетону								
	C8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/35	C32/40	C35/45	C40/50
Призмova міцність, МПа	7.5	11	15	18.5	22	25.5	29	32	36
Кубикова міцність, МПа	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$\varepsilon_{c1}$ , ‰	1.57	1.61	1.66	1.71	1.76	1.81	1.86	1.9	1.94
$\varepsilon_{cu1}$ , ‰	4.5	4.4	4.15	3.85	3.55	3.25	3	2.83	2.63
Зменшення висоти зразка при максимальному напруженні $f_{cm}$ , мм	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8
Зменшення висоти зразка при досягненні $\varepsilon_{cu1}$ , мм	1.8	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
Максимальне навантаження у випробувальній установці, кН	75	110	150	185	220	255	290	320	360
Необхідна максимальна деформація у випробувальній установці при максимальному навантаженні, мм	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08

З аналізу даних таблиці 2 можна зробити висновки, що одна й та сама випробувальна установка може мати обмеження по класу бетону. Тобто, установка може підходити для дослідження менш міцних бетонів, та не підходити для більш міцних у зв'язку з тим що буде мати велику деформативність при таких навантаженнях. На рис. 4 показано випробування бетону C32/40 в установці з недостатньою жорсткістю силової частини.

На наведеному графіку видно ступеневе зростання навантаження на зразок бетону, також помітний момент руйнування зразка бетону. Руйнування проходить дуже швидко, за час менший ніж 0.25 сек. Це пояснюється тим, що в силовій частині установки збережена потенціальна енергія деформації, яка, своєю чергою, передається зразку бетону після проходження точки  $f_{cm}$  і витрачається останнім на власне руйнування. Найбільш очевидний шлях розв'язання даної проблеми при випробуваннях зразків з бетонів високих класів – збільшення жорсткості силової частини установки, тобто використання в останній більш жорстких траверс, гвинтів, основи й виключення з силової частини установки елементів,

що мають велику деформативність, наприклад різного роду вставок, вимірювальних приладів.

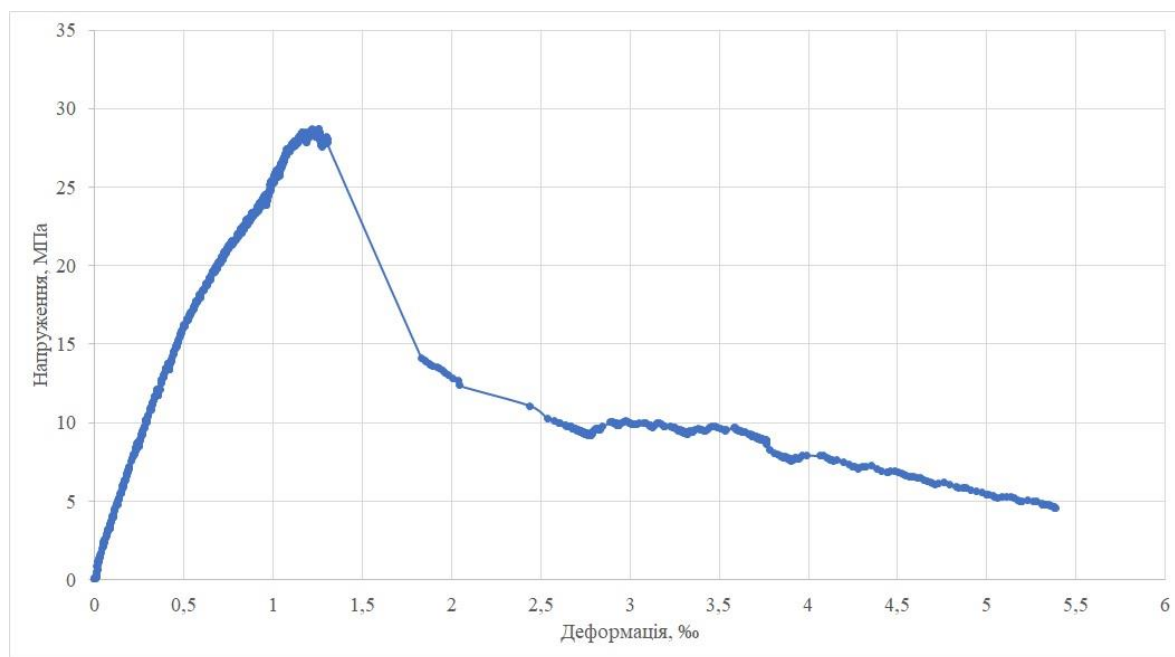


Рис. 4. Зміна навантаження під час випробувань на зразку бетону розмірами  $100 \times 100 \times 400$  мм С32/40 з часом в установці з недостатньою жорсткістю силової частини

**Висновки.** 1. Розглянуто проблеми експериментального отримання повної діаграми напруження деформації для бетону, що працює в умовах пожежі та підвищених температур. Як основними проблемами виділено проблему нагрівання зразка бетону перед випробуванням та проблему деформативності силової частини випробувальної установки.

2. Розглянуто закордонний досвід такого виду випробувань та вітчизняні галузеві норми. Проаналізовано патенти інших країн на такого роду експериментальні установки та порівняно їх з вітчизняними нормами на випробування бетону.

3. Виконано моделювання нагрівання зразка бетону до необхідних температур. Виділено три стадії нагрівання. Отримано дані щодо часу нагрівання, температури недогріву зразка бетону на верхньому та нижньому торці. Вказано на проблеми, що можуть виникнути через не прогрів торців зразка бетону.

4. Приділена увага деформативності силової частини випробувальної установки. Виконані розрахунки для основних класів бетону щодо необхідного випробувального навантаження та деформативності силової частини установки для цього навантаження. Наведено приклад випробування зразка бетону на випробувальній установці з наперед відомою недостатньою жорсткістю силової частини для такого класу бетону.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2012. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT+ EN 1992-1-1:2004/AC:2010, IDT+NA:2013).
2. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT).

REFERENCES:

1. DSTU-N B EN 1992-1-1:2012. Eurocode 2. Proektuvannia zalizobetonnykh konstruktssii. Chastyna 1-1. Zahalni pravyla i pravyla dlia sporud (EN 1992-1-1:2004, IDT+ EN 1992-1-1:2004/AC:2010, IDT+NA:2013).
2. DSTU-N B EN 1992-1-2:2012. Eurocode 2. Proektuvannia zalizobetonnykh konstruktssii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstruktssii na vohnestiiikist/ (EN 1992-1-2:2004, IDT).

3. ДСТУ-Н Б В.2.6-196:2014. Національний стандарт України. Настанова з проектування залізобетонних балок. Розрахунок на вогнестійкість. Мінрегіон України. Київ. 2015.
4. ДСТУ-Н Б В.2.6-197:2014. Національний стандарт України. Настанова з проектування залізобетонних колон. Розрахунок на вогнестійкість. Мінрегіон України. Київ. 2015.
5. Fomin S., Bondarenko Y., Butenko S. and Koli-snikov S. Major Issues of Theory and Practice of Fire Resistance of Reinforced Concrete Structures and Buildings. *Materials Science Forum*. 2020. 1006: 136-142. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.136>.
6. Fomin S. L., Bondarenko Y. V., Butenko S. V., Koli-snikov S. M. Scientific approach to fire resistance calculation of reinforced concrete beams and columns. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2021. 1021. 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012013>.
7. Reinforced concrete design to Eurocode 2. Gian-domenico Toniolo, Marco di Prisco; English edition by Michele Win Tai Mak. Cham: Springer, 2017.
8. Reinforced Concrete Design (Third Edition) By Devdas Menon, S. Pillai. Tata McGraw-Hill Education Pvt. Ltd., 2009. 3rd edition.
9. Reinforced concrete: mechanics and design. James K. Wight, F.E. Richart, Jr., James G. Macgregor. – 6th ed. 2012.
10. Otrosh Y., Kovalov A., Semkiv O., Ru-deshko I., Diven V. Methodology remaining lifetime determination of the building structures. *MATEC Web of Conferences*, 2018. 230, 02023. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002023>.
11. Patent USA US20180011075. Concrete temperature stress testing machine system and concrete temperature stress testing method. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=US210005005>.
12. Patent Japan JP2009168528. Loading and heating apparatus for concrete test piece, <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=JP271838038>.
13. Patent China CN110068510. Device for testing thermal stress of concrete in fire high temperature. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN250183365>.
14. Patent China CN210221719. Device for testing concrete thermal stress in fire high temperature. URL: <https://patent-scope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN293229444>.
15. Patent China CN209656030. Device for testing concrete thermal strain at high temperature in fire. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN277692941>.
16. ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і
3. DSTU-N B V.2.6-196:2014. Natsionalnyi standart Ukrainy. Nastanova z proektuvannia zalizobetonnykh balok. Rozrakhunok na vohnestiikist. Minrehion Ukrainy. Kyiv. 2015.
4. DSTU-N B V.2.6-197:2014. Natsionalnyi standart Ukrainy. Nastanova z proektuvannia zalizobetonnykh kolon. Rozrakhunok na vohnestiikist. Minrehion Ukrainy. Kyiv. 2015.
5. Fomin S., Bondarenko Y., Butenko S. and Koli-snikov S. Major Issues of Theory and Practice of Fire Resistance of Reinforced Concrete Structures and Buildings. *Materials Science Forum* 2020. 1006: pp. 136-142. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.136>.
6. Fomin S. L., Bondarenko Y. V., Butenko S. V., Koli-snikov S. M. Scientific approach to fire resistance calculation of reinforced concrete beams and columns. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1021. 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012013>.
7. Reinforced concrete design to Eurocode 2. Gian-domenico Toniolo, Marco di Prisco; English edition by Michele Win Tai Mak. Cham: Springer, 2017.
8. Reinforced Concrete Design (Third Edition) By Devdas Menon, S. Pillai. Tata McGraw-Hill Education Pvt. Ltd., 2009. 3rd edition.
9. Reinforced concrete: mechanics and design. James K. Wight, F.E. Richart, Jr., James G. Macgregor. – 6th ed. 2012.
10. Otrosh, Y., Kovalov, A., Semkiv, O., Rudeshko, I., Diven, V. (2018). Methodology remaining lifetime determination of the building structures. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02023. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002023>.
11. Patent USA US20180011075. Concrete temperature stress testing machine system and concrete temperature stress testing method. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=US210005005>.
12. Patent Japan JP2009168528. Loading and heating apparatus for concrete test piece, <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=JP271838038>.
13. Patent China CN110068510. Device for testing thermal stress of concrete in fire high temperature. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN250183365>.
14. Patent China CN210221719. Device for testing concrete thermal stress in fire high temperature. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN293229444>.
15. Patent China CN209656030. Device for testing concrete thermal strain at high temperature in fire. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN277692941>.
16. DSTU B V.2.7-217:2009. Metody vyznachennia pryzmovoї mitsnosti, modul'ia pruzhnosti i



коефіцієнта Пуассона. Мінрегіонбуд України. Київ. 2010.

17. Ксенофонов А. Г. *Расчет и конструирование нагревательных устройств*: учеб. для вузов. 2-е изд., испр. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 503 с.

koefitsiienta Puassona. Minrehionbud Ukrainy. Kyiv. 2010.

17. Ksenofontov A. H. *Raschet s konstruyrovanye nahrevatelnykh ustroystv*: Ucheb. dlia VUZov. 2- e yzd., yspr. M.: Yzd-vo MHTU ym. N.E. Baumana, 2014. 503 s.

**Fomin S.L., Bondarenko Y.V., Butenko S.V., Koliesnikov S.M. THE PROBLEMS OF EXPERIMENTAL RECEIVING «STRESS-DEFORMATION» DIAGRAMS FOR CONCRETE OPERATING IN FIRE AND IN THE CONDITIONS OF ELEVATED TEMPERATURE.** The article is devoted to the problems of experimental receiving a complete diagram of strain stress for concrete operating in fire and elevated temperatures. The experience of this type of tests from other countries and approaches to such experimental tests are given. The problems of heating the concrete sample before such tests and the stiffness of the power part of the test installation are considered. Simulations and calculations are performed to help solve this kind of test problem.

**Key words:** temperature diagram "stress-strain", experimental testing of concrete, installation for testing concrete at elevated temperatures.

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-103-1-134-140

УДК 624.074.434

**Шумаков І.В.<sup>1</sup>, Салія М.Г.<sup>1</sup>, Мікаутадзе Р.І.<sup>2</sup>, Фурсов Ю.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [shumakov.hisi@gmail.com](mailto:shumakov.hisi@gmail.com), [medeasalia@gmail.com](mailto:medeasalia@gmail.com) ; [orcid.org/0000-0002-1502-051X](https://orcid.org/0000-0002-1502-051X); [orcid.org/0000-0002-2414-9016](https://orcid.org/0000-0002-2414-9016))

<sup>2</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка

(вул. Алчевських 44, Харків, 61002, Україна; e-mail: [revazmk@gmail.com](mailto:revazmk@gmail.com); [orcid.org/0000-0003-4501-7968](https://orcid.org/0000-0003-4501-7968))

<sup>3</sup>Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

(вул. Маршала Бажанова 17, Харків, 61000 Україна; [orcid.org/0000-0002-1386-2254](https://orcid.org/0000-0002-1386-2254))

## **КОНСТРУКТИВНІ І ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УЛАШТУВАННЯ ПОКРИТТЯ У ФОРМІ ГІПЕРБОЛІЧНОГО ПАРАБОЛОЇДА**

У статті розглядаються організаційно-технологічні та конструктивні рішення улаштування конструкції покриття у формі гіперболічного параболоїда. Виконана ідентифікація факторів, що впливають на параметри прийнятих рішень. В ході досліджень обґрунтована раціональна комбінація конструктивних і технологічних умов виробництва робіт, що забезпечило максимальну ефективність їх використання.

**Ключові слова:** оболонка, гіперболічний параболоїд, міцність, оптимізація, тканинна мембрана.

**Вступ.** За останні роки в багатьох країнах світу при зведенні будівель різного призначення спостерігається тенденція до застосування нових конструктивних рішень покриттів типу оболонок, окреслених по поверхні гіперболічного параболоїда. Оболонки дозволяють створювати покриття різноманітної архітектурної форми та вирішують задачу перекриття особливо великих площ з мінімальним використанням матеріальних ресурсів. Гармонійні й сміливі унікальні конструкції дають можливість творчого самовираження та експлуатаційної різноманітності площ і обсягів (рис. 1). Так, наприклад, Millennium Dome London входить до списку 25 найбільших будівель і споруд по площі з показником 104 600 м<sup>2</sup>.

У якості просторових конструкцій покриття в формі гіперболічних параболоїдів (гіпару) з'явилися в 1932 р. у Франції [1]. Вони вважалися надзвичайно сміливими конструкціями для рівня розвитку наукових теорій, методів розрахунків та будівельних технологій того часу.

Хоча покриття у формі гіперболічних параболоїдів являє собою систему просторових поверхонь з подвійною кривиною, їх реалізація досить проста, через те, що всі елементи можуть бути розміщені по направлених лініях.