

УДК 699.81

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ДЕФОРМАЦІЙ СТАЛЕБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДІЇ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР

*І. Добрянський, д. т. н., Л. Добрянська, к. е. н., А. Грищевич,  
старший викладач, Р. Скрипець, магістр  
Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Максимальна міцність застосовуваних бетонів за останні 25 років зросла більше ніж у 2,5 рази [2]. Відтак з'явилася можливість синтезу й конструювання структур бетонів нового покоління зі значно поліпшеними показниками, такими як міцність, тріщиностійкість, довговічність, корозійна стійкість, морозостійкість і т.д. [3]. Це дає змогу стверджувати, що бетон і залізобетон у недалекому майбутньому залишаться одними з основних конструкційних будівельних матеріалів, застосування яких найдоцільніше у транспортному й енергетичному будівництві, спорудженнях інженерно-екологічних систем і в несучих конструкціях цивільних і промислових будинків.

Важливими є й завдання підвищення вогнестійкості цивільних будинків і споруд, що містять конструкції з бетону, а також поліпшення характеристик жаростійких бетонів і конструкцій з них. Це дає змогу знизити їхню вартість, зменшити тривалість зведення, підвищити надійність і довговічність, а також істотно заощадити паливно-енергетичні ресурси.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчення температурних полів у бетоні за дії підвищених температур з урахуванням екзотермії вимагає завдання в аналітичному виді швидкості тепловиділення і нагріву, що входить у праву частину рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = a_t \nabla^2 \Phi + \frac{Q}{\gamma_c} \cdot \frac{\partial E}{\partial t}$$

Оскільки швидкість екзотермії суттєво залежить від температури бетону, то й кількість тепла, що виділилася, до заданого моменту часу в різних його точках неоднакова. Якщо в початковий момент твердіння бетону тепловиділення однаково по всьому його обсягу, то в наступні моменти часу поблизу поверхні тіла воно починає відставати від тепловиділення в ядрі, оскільки з теплообміном розподіл температури за об'ємом тіла стає нерівномірним. Тому функція екзотермії, що є тепловиділенням у бетоні, виявляється залежною не тільки від часу, а й від координат точки  $E = E(x, y, z, t)$ . Подати цю функцію у вигляді деякого точного закону, що враховує всі обставини, які впливають на тепловиділення в бетоні, неможливо. Доводиться враховувати тільки головні з них і послуговуватися наближеним вираженням для функції, що досить добре описують дійсну картину тепловиділення в бетоні. З цієї метою І.М. Добрянський [1], Г.Д. Вишневецький, А.А. Гвоздьов [3], І.Д. Запорожець [4] та інші внесли низку пропозицій.

**Постановка завдання.** Наше завдання – провівши порівняльну роботу дослідних зразків в умовах підвищених температур у комплексі з навантаженням, подати оцінку і порівняти отримані експериментальні результати з теоретичним розрахунком та з комп'ютерною моделлю.

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до завдання, теорії теплопровідності при джерелах тепла, що залежать від температури, розв'язують у такий спосіб: потрібно відшукати температурну функцію  $\Phi(x, y, z, t)$ , що відповідає диференціальному рівнянню теплопровідності із джерелами тепла, що залежать від температури нагрівання

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = a_t \nabla^2 \Phi + \omega(t) \Phi \quad (1)$$

за заданих граничних умов, наприклад, умов виду

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \nu} + h_\nu [\Phi - \varphi_\nu(t)] = 0 \text{ на поверхні}$$

відповідних випадку вільного теплообміну і початковій умові

$$\Phi = \theta_0 \text{ за } t = 0 \quad (2)$$

функції  $\omega(t)$ ,  $\varphi_\nu(t)$  і початкова температура  $\theta_0$  задані.

Унаслідок лінійності основного диференціального рівняння розглянуте завдання може бути зведене до двох простіших завдань.

Подамо шукану функцію  $\Phi$  у вигляді суми двох доданків

$$\Phi = \Phi_1(x, y, z, t) + \Phi_2(x, y, z, t) \quad (3)$$

Як функцію  $\Phi_1$  виберемо розв'язок завдання

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial t} = a_t \nabla^2 \Phi_1 + \omega(t) \Phi_1 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial \nu} + h_\nu \Phi_1 = 0 \text{ на поверхні}$$

$$\Phi_1 = \theta_0 \text{ за } t = 0$$

Тоді функція  $\Phi_2$  буде розв'язком наступного завдання:

$$\frac{\partial \Phi_2}{\partial t} = a_t \nabla^2 \Phi_2 + \omega(t) \Phi_2 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \Phi_2}{\partial \nu} + h_\nu [\Phi_2 - \varphi_\nu(t)] = 0 \text{ на поверхні}$$

$$\Phi_2 = 0 \text{ за } t = 0$$

Допоміжне завдання з однорідними граничними умовами, зумовлене рівняннями, є першим класичним завданням теорії теплопровідності за джерел тепла, що залежать від температури. Друге ж допоміжне завдання з однорідною

початковою умовою, зумовлене рівняннями, є другим класичним завданням цієї теорії.

За наявності готових розв'язків першої та другої класичних завдань за формулою завжди може бути складений загальний розв'язок завдання теорії теплопровідності за джерел тепла, що залежать від температури, що визначає собою температурне поле, за таких умов (рис. 1–5).



Рис. 1. Балка Бс-1 з тріщинами після випробовувань



Рис. 2. Тріщини дослідних балкових зразків Бс-1 та Бс-2

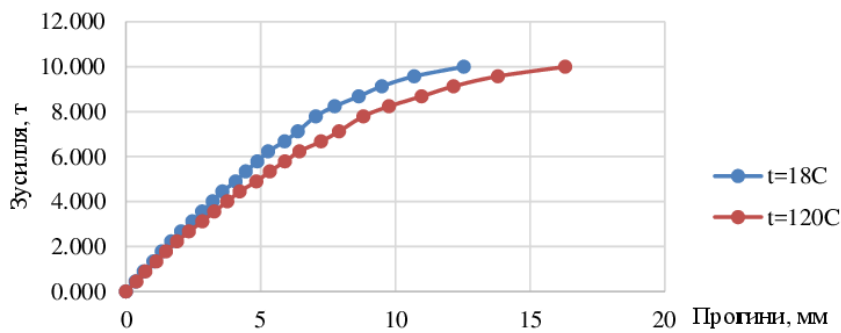


Рис. 3. Прогини дослідних балок в умовах різних температур

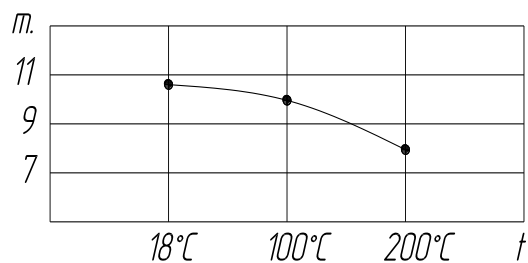


Рис. 4. Залежність несучої здатності балок за різних температур

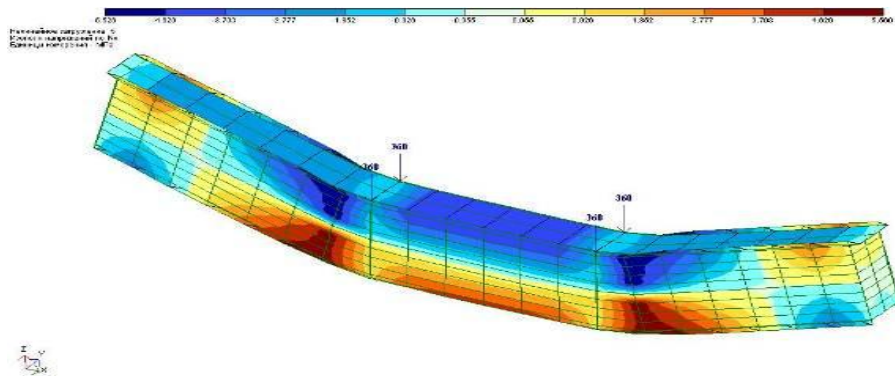


Рис. 5. Модель напружено-деформованого стану балки за умов підвищених температур

**Висновки.** За результатами отриманих теоретичних і експериментальних даних можна стверджувати:

1. Підвищені температури призводять до зміни вологісного стану конструкції та негативно впливають на фізико-механічні характеристики бетону.

2. Сталобетонні конструкції, які за призначенням працюють в умовах підвищених температур або локального нерівномірного нагріву, необхідно додатково розраховувати з урахуванням температурних факторів.

3. За умов підвищених температур та зі зміною вологості конструкції відбувається розвиток деформації. Враховуючи негативний вплив розвитку деформацій, доцільно значення граничної межі деформації бетону розглядати з урахуванням не тільки класу бетону, а й вологості повітря за умов підвищених температур.

#### Бібліографічний список

1. Добрянський І. М. Аналітична оцінка вогнестійкості сталобетонних балок на основі урахування зміни деформативних характеристик / І. М. Добрянський, Л. О. Добрянська, Є. Г. Іваник // Будівельні конструкції. – 2014. – Вип. 80. – С. 126–133.
2. Абрамян Б. Л. О температурных напряжениях в прямоугольном бетонном блоке / Б. Л. Абрамян // Известия АН АрмССР. Серия физико-математических и естественных наук) 1984. – Т. VII, № 3. – 426 с.
3. Вишневецький Г. Д. Температурно-усадочні деформації в масивних бетонних блоках / Г. Д. Вишневецький // Вісник АН України. – 1998. – № 4. – С. 128–142.
4. Запорожец И. Д. Основы теории тепловыделения в бетоне / И. Д. Запорожец // Научно-техническое совещание по изучению свойств бетона, определяющих его трещиностойкость в массивных гидротехнических сооружениях / И. Д. Запорожец. – М. : Госэнергоиздат, 1983. – С. 214–231.

**Добрянський І., Добрянська Л., Грицевич А., Скрипець Р. Дослідження характеру деформацій сталобетонних елементів за дії підвищених температур**

Проведено дослідження двох балок з метою вивчення характеру деформацій залізобетонних елементів під дією зосереджених навантажень за умов підвищених температур. Виконано теоретичні розрахунки напружено-деформованого стану

балок в умовах різних температурних середовищ. Порівняно теоретичні і отримані експериментальні дані.

**Ключові слова:** залізобетон, армування, напружено-деформований стан, несуча здатність, термічне навантаження.

**Dobryanskyj I., Dobryanska L., Grycevych A., Skrypecz R. Investigation of the deformation character of steel-concrete elements under the influence of elevated temperatures**

The study of two beams was conducted in order to study the character of the deformations of reinforced concrete elements under the action of concentrated loads in conditions of elevated temperatures. Theoretical calculations of the stress-strain state of beams in the conditions of different temperature environments are carried out. The comparison of theoretical and experimental data is carried out.

**Key words:** reinforced concrete, reinforcement, stress-strain state, load-bearing capacity, thermal load.

**Добрянский И., Добрянская Л., Грыцевыч А., Скрыпец Р. Исследование характера деформаций сталебетонных элементов при действии повышенных температур**

Проведено исследование двух балок с целью изучения характера деформаций железобетонных элементов под действием сосредоточенных нагрузок в условиях повышенных температур. Выполнены теоретические расчеты напряженно-деформированного состояния балок в условиях различных температурных сред. Проведено сравнение теоретических и полученных экспериментальных данных.

**Ключевые слова:** железобетон, армирование, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, термическая нагрузка.

*Стаття надійшла 28.08.2017.*

УДК 517.598

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ  
СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ  
ЗА ДІЇ ПЕРІОДИЧНИХ ТЕПЛОВИХ ВПЛИВІВ**

*А. Грицевич, старший викладач  
Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Інтенсивний розвиток промислового будівництва з використанням сучасних технологій нерозривно пов'язаний зі застосуванням нових видів матеріалів, переважно композиційної структури, до яких, зокрема, можна віднести сталезалізобетонні інженерні системи. Процес теплових випробувань і експлуатації залізобетонних елементів будівельних конструкцій та інженерних