

УДК 624.011

**УТОЧНЕНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗГИНАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ЗАЗНАЮТЬ ВПЛИВУ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР ЗА ДІЇ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

**THE REFINED METHOD FOR THE STRENGTH CALCULATION OF THE NORMAL SECTION OF THE BENDABLE FERROCONCRETE ELEMENTS INFLUENCED BY THE ELEVATED TEMPERATURES UNDER THE ACTIONS OF THE LOW-CYCLE LOAD**

**Зінчук М.С., к.т.н., доц., (Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне)**

**Zinchuk M.S., candidate of technical sciences, associate professor, (National University of Water Management and Nature Resources, Rivne)**

**Викладено уточнений метод розрахунку згинальних залізобетонних елементів, що зазнають впливу підвищених температур за дії малоциклових навантажень на основі структуризації методики розрахунку за результатами експериментальних досліджень напружено-деформованого стану таких елементів при короткочасному нагріванні та малоциклових навантаженнях.**

**The refined method for the strength calculation of the bendable ferroconcrete elements influenced by the elevated temperatures under the actions of the low-cycle loads on the basis of the structuring of the calculation method according to the results of the experimental research of the stress-strain state of these at the short-term heating and the low-cycle loads.**

**Existing methodology of experimental research of concrete and reinforced bending concrete elements, dependent upon influence of raised temperatures for temporary and small cyclical loadings were supplemented and perfected. Experimentally established specialties of strong and deformed properties of hard concrete in heated state for temporary and small cyclical loadings. The experimental results and impact of short-term and small cycle loading under elevated temperatures on deformation lower extreme compressed zone of concrete. Low-cycle load during brief heating has influence on the change of strain in extreme layer of the compressed zone of concrete, was observed at the stages of loading and unloading. It is established that the deformation of the compressed zone of concrete is elasto-plastic and increases under the influence of temperature under the unilateral short-term and low-cycle loads. As the result, the improvements to method of calculation of reinforced concrete bending elements strength under joint influence of small cycles**

**loadings and raised temperatures. The comparative analysis of the theoretical quantities confirms the acceptance of the proposed improvements to this method.**

**Ключові слова:**

Уточнений метод, підвищені температури, малоциклові навантаження,  
Refined method, elevated temperatures, low-cycle leading.

**Вступ.** Залізобетонні згинальні елементи прямокутного перерізу, які зазнають впливу підвищених температур за дії малоциклових навантажень, широко використовуються на підприємствах різних галузей промисловості, теплових та атомних електростанцій. У зв'язку з введенням в дію нових будівельних норм постала необхідність обґрунтувати передумови та розробити теоретичні підходи до уточнення сучасної методики розрахунку згинальних елементів на основі проведених експериментальних досліджень бетону та залізобетонних конструкцій, що зазнають впливу підвищених температур за малоциклових навантажень. Враховуючи різні рівні навантажень та значень температур, виявлені особливості роботи таких конструкцій за даних факторів впливу, що дозволяє внести уточнення до методу розрахунку таких елементів.

**Аналіз останніх досліджень.** Існує значна кількість досліджень, присвячених розробці методик розрахунку міцності згинальних залізобетонних елементів, що зазнають впливу підвищених температур за дії короткочасних навантажень. Проте, аналіз попередніх досліджень показує, що практично вони враховують тільки зміни у роботі таких елементів при температурах за умов короткочасних і тривалих навантажень. Вивчення фізико-механічних властивостей бетонних і залізобетонних елементів в умовах підвищених температур за малоциклових навантажень є одним із чергових елементів комплексної програми із вдосконалення будівельних конструкцій і методів розрахунку на основі глибокого вивчення їх дійсної роботи. Вперше проведені експериментальні дослідження напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів в умовах одночасної дії малоциклових навантажень і підвищених температур дали можливість розробити теоретичні підходи до уточнення методики розрахунку міцності згинальних залізобетонних елементів за сумісної дії малоциклового навантаження та короткочасного нагрівання, оскільки досконалих і одночасно досить простих методик розрахунку міцності нормальних перерізів згинальних залізобетонних конструкцій поки ще немає.

**Постановка мети і задач досліджень.** Зважаючи на вказані передумови, метою досліджень було експериментально і теоретично вивчити напружено-деформований стан залізобетонних згинальних елементів за одночасної дії підвищених температур та малоциклових навантажень з детальним дослідженням поведінки бетону в таких умовах та уточнити методику

розрахунку міцності елементів, що зазнають впливів нагрівання і малоциклового навантаження.

**Методика досліджень.** В основу експериментальних випробувань була покладена розроблена методика досліджень міцнісних та деформативних характеристик бетонних і залізобетонних елементів на місцевих традиційних заповнювачах із урахуванням сумісної дії короткочасного навантаження і температур та за дії малоциклового навантаження в умовах підвищених температур. Для вивчення особливостей міцнісних та деформативних характеристик важкого бетону, відповідно до мети і задач, проведено завантаження кубових та призмових зразків за одноразового та малоциклового навантажень як в нагрітому, так і в охолодженому станах після нагрівання. Нагрівання проводилось як в термопечі заводського виготовлення, так і в окремо виготовлених односекційних термокамерах, а також за нормальних температурно-вологісних умов. Для проведення досліджень напружено-деформованого стану згинальних залізобетонних елементів за короткочасних та малоциклових навантажень в умовах підвищених температур, була виготовлена важільно-пружинна установка із застосування спеціальної нагрівальної камери видовженої прямокутної форми з автоматичною підтримкою заданої температури в камері від 20° до 180°С. Для контролю температури на різних ділянках по висоті перерізу балки, були встановлені термопари, деформації в стиснутій зоні бетону вимірювались індикаторами годинникового типу, прогини при завантаженні залізобетонної балки фіксувались прогиномірами. Нагрів проводився зі сторони стиснутої зони.

**Результати досліджень.** Перші дослідження зміни міцності бетону при нагріванні кубів до 120, 200 і 300°С показали, що підвищені температури впливають на міцнісні властивості бетону як в нагрітому, так і в охолодженому станах після нагріву. При випробуванні кубів в нагрітому стані, міцність бетону за температури 120°С зменшилась на 20%, за температури 200°С – на 28% і при нагріванні до 300°С – на 36% від початкового значення за температури 20°С. В охолодженому стані за добу після нагріву, кубова міцність бетону при температурах 120°, 200° і 300°С зменшилась відповідно на 26%, 28% і 30%.

Визначення кубової і призової міцності важкого бетону було необхідним для проведення подальших досліджень, які проводились за нормальних температурно-вологісних умов та в нагрітому стані за температур 60° і 120°С. Аналізуючи отримані значення призової міцності бетону зразків випробуваних за температур 60° і 120°С при одноразовому навантаженні, зменшення призової міцності за короткочасного нагрівання відповідно становило 4% і 11%. Призмova міцність бетону, що зазнав впливу підвищених температур, може бути визначена за формулою

$$f_{cd,t} = \gamma_{cd,t} \cdot f_{cd}, \quad (1)$$

де  $f_{cd,t}$  – призмova міцність бетону, що зазнав впливу температур;

$\gamma_{cd,t}$  – коефіцієнт, що враховує зміну міцності від температури нагріву;

$f_{cd}$  – призмова міцність бетону за звичайних умов.

Аналіз отриманих дослідних даних стану бетонів, що зазнають сумісної дії підвищеної температури та короткочасних повторних навантажень показує, що визначальним фактором, який впливає на якісний стан бетону є також верхній рівень  $\eta_v$  прикладання короткочасних повторних навантажень. За отриманими експериментальними даними міцності бетону, що зазнав одночасної дії підвищених температур і короткочасних повторних навантажень з верхнім рівнем  $\eta_v$  встановлено коефіцієнт впливу повторних навантажень на міцність бетону в залежності від верхнього рівня навантажень

$$\gamma_{cic} = f_{cd,cic}^t / f_{cd}^t, \quad (2)$$

Величини коефіцієнта  $\gamma_{cic}$  за верхнім рівнем навантаження

Рівень $\eta_v$	0,32	0,43	0,51	0,60	0,65	0,50
$\gamma_{cic}$	1,00	1,01	1,03	1,105	1,08	0,95

За сумісного впливу підвищених температур та короткочасних повторних навантажень на призмову міцність, опір бетону можна визначати за формулою

$$f_{cd,cic}^t = \gamma_{cic} \cdot f_{cd}^t = \gamma_{cic} \cdot \gamma_{cd}^t \cdot f_{cd}^t, \quad (3)$$

де  $\gamma_{cd}^t$  – коефіцієнт умов роботи після повторного навантаження за різних температур нагрівання, який приймається за табл.3.4 [4].

Експериментально досліджено міцнісний та напружено-деформативний стан згинальних залізобетонних елементів за одноразових та малоциклових навантажень в умовах одностороннього короткочасного нагрівання. В якості розрахункової моделі було прийнято залізобетонний згинальний елемент дослідної серії, армований одиначною арматурою, що піддавався короткочасному нагріванню зі сторони стиснутої зони. Основним фактором впливу малоциклових навантажень на міцність бетону є верхній рівень прикладання малоциклових навантажень, пересуваючи на другорядні позиції амплітуду прикладання навантажень, кількість циклів, масштабний фактор, мінерально-структурний склад бетону, що показали натурні дослідження бетонних зразків. Після прикладання розрахункового числа малоциклових навантажень та доведення елемента до руйнування, еюра стискаючих напружень прийнята прямокутною.

При виконанні розрахунків згинальних залізобетонних елементів за несучою здатністю під впливом підвищених технологічних температур за дії короткочасного повторного навантаження, внесені пропозиції удосконалити традиційну методику розрахунку з урахуванням змін механічних

характеристик бетону, які базуються на отриманих результатах досліджень залізобетонних балок за короткочасних повторних навантажень в умовах підвищених температур та існуючій методиці розрахунку згинальних елементів при одноразовому навантаженні за граничними станами.

Умови міцності нормальних перерізів залізобетонних згинальних елементів прямокутного перерізу з одиничною арматурою, які зазнали негативного впливу підвищених температур зі сторони стиснутої зони бетону та працюють за дії короткочасних повторних навантажень, можна записати у вигляді

$$M \leq f_{cd} \cdot \gamma_{cd}^t \cdot \gamma_{cic} \cdot b \cdot \lambda_x \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda_x), \quad (4)$$

де  $\gamma_{cd}^t$  – коефіцієнт, що враховує вплив на міцність бетону підвищених технологічних температур;

$\gamma_{cic}$  – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень і визначається залежно від середнього рівня напружень стиснутої зони бетону за верхнього рівня короткочасних навантажень.

Висота стиснутої зони  $\lambda_x$  при  $\xi > \xi_R$  визначається із рівняння рівноваги

$$f_{yd} \cdot A_s \leq f_{cd} \cdot \gamma_{cd}^t \cdot \gamma_{cic} \cdot b \cdot \lambda_x, \quad (5)$$

якщо  $\xi > \xi_R$ , то у розрахунковій формулі (10) приймають  $\lambda_x = \xi_R \cdot d$ .

Проведені натурні випробування залізобетонних елементів показали, що несуча здатність нормальних перерізів згинальних елементів, що зазнавали сумісної дії підвищених температур та короткочасних повторних навантажень, відрізняються від отриманих теоретичних результатів. Теоретичні значення руйнівних моментів, які визначені за приведеними формулами (4), (5), отримані дещо заниженими в порівнянні з дослідними величинами моментів. Так при одноразовому навантаженні, розбіжність між дослідними і теоретичними значеннями руйнівних моментів становить 11%, за короткочасного нагрівання до 120°C при одноразовому навантаженні – на 9% і за короткочасних повторних навантажень в умовах підвищених температур – на 7,5%, тобто знаходиться в межах допустимого і відповідно уточнені вказані формули можуть бути використані при визначенні теоретичних значень руйнівних моментів згинальних залізобетонних елементів за одноразового та короткочасно повторного навантажень під впливом одностороннього нагрівання згинального елемента.

**Висновки:** 1. В процесі експериментальних досліджень встановлено, що нагрівання бетонних та залізобетонних елементів при одноразовому короткочасному навантаженні суттєво впливають на їх міцність та деформативність.

2. На міцнісні властивості бетону при короткочасному нагріванні, надають значного впливу особисті внутрішньоструктурні напруження, а при зволоженні і масштабний фактор.

3. Визначальним фактором, який впливає на якісний стан бетону при нагріванні є верхній рівень  $\eta_v$  прикладання небагатоповторних короткочасних навантажень.
4. Небагатоповторні короткочасні навантаження з прийнятими граничними їх рівнями, суттєвих змін міцності нормальних перерізів нагрітих дослідних зразків не визивали. Руйнуючі згинальні моменти зменшувались при нагріванні до 120° – від 7,5 до 9%.
5. Внесені пропозиції до уточнення формул розрахунку міцності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів з нагрітою до 120°C стиснутою зоною бетону після прикладання короткочасного повторного навантаження.

1. Бабич Є.М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень: монографія /Є.М.Бабич, Ю.О.Крусь. – Рівне: Вид-во РДТУ, 1999.-119 с.

2. Гомон С.С. Структурні напруження бетону за стискаючих навантажень з урахуванням фактора середовища / Гомон С.С.// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.- Рівне, 2001. – Вип.5 – С. 146-151.

3. Зінчук М.С. Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних згинальних елементів за одноразового та малоциклового навантажень в умовах підвищених температур // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Випуск 11. Рівне, 2004. – С. 164-166.

4. Зінчук М.С. Міцність та деформативність залізобетонних згинальних елементів за малоциклових навантажень в умовах підвищених температур: дис.. ...кандидата техн..наук: 05.23.01 / Зінчук М.С. – Рівне, 2008. – 172 с.

5. Гомон С.С., Зінчук М.С. Врахування сумісної дії малоциклового навантаження та зовнішнього середовища при розрахунках згинальних залізобетонних елементів // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Зб. наук. праць. Спецвипуск. РДТУ, Рівне, 1999. – С. 179-183.

1. Babych Ye.M. Betonni ta zalizobetonni elementy v umovakh malotsyklovykh navantazhen: monohrafiia / Ye.M.Babych, Yu.O.Krus.–Rivne: Vyd-vo RDTU, 1999.-119 s.

2. Homon S.S. Strukturni napruzhenia betonu za styskaiuchykh navantazhen z urakhuvanniam faktora seredovyscha / Homon S.S.// Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy.- Rivne, 2001. – Vyp.5 – S. 146-151.

3. Zinchuk M.S. Eksperymentalni doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu zalizobetonnykh zghynalnykh elementiv za odnorazovoho ta malotsyklovoho navantazhen v umovakh pidvyshchenykh temperatur // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zb. nauk. prats. Vypusk 11. Rivne, 2004. – S. 164-166.

4. Zinchuk M.S. Mitsnist ta deformatyvniat zalizobetonnykh zghynalnykh elementiv za malotsyklovykh navantazhen v umovakh pidvyshchenykh temperatur: dys. kandydata tekhn..nauk: 05.23.01 / Zinchuk M.S. – Rivne, 2008. – 172 s.

5. Homon S.S., Zinchuk M.S. Vrahuvannia sumisnoi dii malotsykloвого navantazhennia ta zovnishnoho seredovyscha pry rozrakhunkakh zghynalnykh zalizobetonnykh elementiv // Hidromelioratsiia ta hidrotekhnichne budivnytstvo: Zb. nauk. prats. Spetsvypusk. RDTU, Rivne, 1999. – S. 179-183.