

УДК 624.012

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ ЗА ДІЇ КОРОТКОЧАСНИХ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА ПРИ ДЕЙСТВИИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗОК

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE STRENGTH PROPERTIES OF CONCRETE UNDER THE ACTIONS OF THE SHORT-TIME REPEATED LOADINGS

Зінчук М.С., к.т.н., доц., Гомон С.С., к.т.н., проф., Сторож І.С., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне)

Зинчук Н.С., к.т.н., доц., Гомон С.С., к.т.н., проф., Сторож И.С., студент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г.Ривне)

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

Викладені результати експериментальних досліджень впливу вологи, підвищених температур на міцнісні властивості бетону за дії повторних навантажень. Запропоновані підходи до вдосконалення методики розрахунку залізобетонних елементів з урахуванням наведених факторів впливу та повторних навантажень.

Изложены результаты экспериментальных исследований влияния влаги, повышенных температур на прочностные свойства бетона при действии повторных нагрузок. Предложены подходы к усовершенствованию методики расчета прочности железобетонных элементов с учетом приведенных факторов влияния и повторных нагрузок.

The expounded results of experimental researches of the influence of moisture and the raised temperatures are expounded on durability of concrete at the action of the repeated loading. Offered approach to the improvement of

method calculating the strength of reinforced elements taking into account the factors and repeated loadings.

Ключові слова:

Бетон, міцність, волога, температура, повторні навантаження, фактори впливу.

Бетон, прочность, влага, температура, повторные нагрузки, факторы влияния. Concrete, durability, moisture, temperature, repeated load, factors influencing.

Стан питання та задачі досліджень. Значна частина бетонних та залізобетонних конструкцій гідромеліоративних і гідротехнічних споруд, будівель металургії, хімічної та машинобудівної промисловості підлягають як експлуатаційному, або випадковому односторонньому зволоженню за нормальних температурних умов, так і в окремих цехах різних сфер промисловості, котельнях та теплових електростанцій експлуатуються в умовах підвищених технологічних температур за дії короточасних повторних навантажень. Залізобетонні елементи лотків-водоводів, мостів-акведуків, водоскидів, укосів ґрунтових гребель і каналів та стінок шлюзів підлягають односторонньому зволоженню за небагатоповторних експлуатаційних навантажень. За дії підвищених технологічних температур в процесі експлуатації знаходяться плити, ригелі, підкранові балки, колони будівель та споруд на підприємствах різних галузей промисловості, а також теплових і атомних електростанціях.

Вплив тривалості зволоження, тривалості дії технологічних підвищених температур за дії короточасних повторних навантажень призводять до зниження міцності, підвищення тріщиностійкості та збільшення деформативності бетонних та залізобетонних конструкцій. В зв'язку з цим, аналіз дослідження впливу технологічних факторів (водонасичення-висихання, нагрівання-охолодження) на міцність бетону та несучу здатність залізобетонних елементів є необхідністю різностороннього та більш глибокого вивчення можливостей застосування важкого бетону в подібних умовах. Моделюючи всі процеси, всю багаторазовість впливових факторів на бетон в різній їх послідовності і інтенсивності дій, можна виявити фактичний вплив на реальні несучі конструкції за умов експлуатації і намітити шляхи попередження їх виходу із непридатності до експлуатації.

Мета і задачі досліджень. Зважаючи на вказані передумови, метою дослідження було встановлення впливу технологічних факторів на міцнісні властивості бетону за дії короточасних повторних навантажень та врахування цих факторів у відповідних теоретичних розрахунках несучих конструкцій.

Методика досліджень. Бетонні та залізобетонні зразки, що були використані для дослідження впливу технологічних факторів на міцнісні властивості бетону за дії короточасних повторних навантажень, були виготовлені в лабораторних умовах і сформовані в горизонтальному

положенні. При дослідженні впливу зволоження на міцнісний стан бетону, для виготовлення експериментальних зразків була використана бетонна суміш з місцевих сировинних матеріалів, куди входять сірий дрібнозернистий щебінь Клесівського кар'єру з об'ємною густиною $\gamma=1420$ кг/м³ з фракціями зерен 5.10...10,20 мм. Модуль крупності піску складав $M_k=1,22$. Цемент Новоздолбунівського заводу ВАТ "Волинь-Цемент" марки 500.Склад бетонної суміші Щ : П : Ц = 3,29 : 1,75 : 1,0 з водоцементним відношенням В/Ц = 0,52.

Зволоження бетонних зразків першої серії у віці 1,5 року природного твердіння проводилося у ваннах з побутовою водою протягом 2...65 діб. Випробування проводилися за годину після видалення зразків із води.

Дослідні зразки другої серії, що були використані для дослідження впливу підвищених температур на міцність бетону за дії короткочасних повторних навантажень, були виготовлені з бетонної суміші із такою витратою матеріалів на 1 м³: щебінь гранітний Клесівського кар'єру фракції 5...20 мм з об'ємною густиною $\gamma=2700$ кг/м³ – 1340 кг; пісок кварцовий Костопільського кар'єру - 700 кг; портландцемент М500 – 370 кг; вода водопровідна – 170 л.

Склад бетону Щ : П : Ц = 3,6 : 1,86 : 1,0 за масою при В/Ц = 0,46.

Бетонну суміш двох серій виготовляли в лабораторних умовах. Після перемішування сухих компонентів цементу і піску додавали необхідну кількість води до тих пір, щоб усадка конуса складала 7...8 см.

Бетонні зразки, що були використані для дослідження двох серій мали такі геометричні розміри: куби - 100×100×100 мм та 150×150×150 мм; призми - 150×150×600 мм; 100×100×400 мм; 40×40×160 мм; залізобетонні балки - 80×120×1400 мм.

Зразки першої серії випробувалися у вологому стані після зволоження їх протягом 2, 4, 6, 8 та 65 діб. По три бетонні призми були випробувані в сухому стані на початку процесу зволоження та після 50 діб зволоження, а потім 10 діб зберігання в нормальних температурно-вологісних умовах за температури 20⁰С та вологості до 60%. Залізобетонні балки армовані каркасами з одиничною поздовжньою арматурою Вік бетону дослідних балок до початку випробувань становив 2 роки.

Зразки другої серії були випробувані за нормальних температурно-вологісних умов та після нагріванні до температур 60⁰С, 120⁰С і 300⁰С як за одноразових так і короткочасних повторних навантажень. Контрольні куби були випробувані на пресі з доведенням до руйнування як в нагрітому стані за відповідних температур, так і в охолодженому стані через 1, 10, 20 і 40 діб після нагрівання. В дослідженнях, на кожному етапі випробування дослідних зразків, використовувалось не менше трьох кубів і трьох призм. Крім того, зразки кубів і призм випробували за одноразових та короткочасних повторних навантажень для визначення кубової та призмової міцностей бетону. При дослідженні в умовах одностороннього нагріву враховувалась

залежність розподілу температури по висоті балки у відповідності з часом нагрівання.

Поздовжні деформації в стиснутій зоні бетону вимірювалися за допомогою індикаторів ІМІГ з базою 200 мм. За допомогою спеціально виготовлених пристроїв вимірювальні прилади при нагріванні були винесені за межі камери. Прогини при завантаженні фіксувалися прогиномірами Максимова з ціною поділки 0,01 мм. За допомогою виносних пристроїв, прогиноміри встановлювалися по два на кожній ділянці прикладання навантажень. Для постійного контролю температури по висоті перерізу балки, були встановлені термопари, з'єднані з вимірювальними приладами.

Результати експериментальних досліджень. Проведені дослідження зміни міцності бетону призм в сухому та зволоженому стані після 2-х, 4-х, 6-и, 8-и, 30-и та 65 діб за одноразового короткочасного навантаження показали, що найбільше зниження міцності бетону відбувається на 2-4 добу зволоження і становить 14, 19, 26, 32% відповідно для призм 200×200×800, 150×150×600, 100×100×400 та 40×40×160 мм з наступним відновленням за 30-40 діб. Отримані результати на різних за розмірами призмах свідчать, що вплив водонасичення-висихання на міцність бетону за різних розмірів призм є різна, а тому проведено дослідну роботу в даній області оцінити однозначно неможливо. Необхідно врахувати лише те, що призмове міцність на 20-30 добу за одноразового зволоження відновлюється і навіть перевищує початкову.

Призмове міцність бетону, зволоженого 2-4 доби з урахуванням масштабного фактору зразка, можна визначити за формулою

$$f_{cd}^w = k_{cd}^w \cdot f_{cd}, \quad (1)$$

де f_{cd}^w – призмове міцність бетону при зволоженні протягом 2-4 діб з урахуванням масштабного фактора дослідного зразка;

k_{cd}^w – коефіцієнт, враховуючий зниження міцності бетону при зволоженні в залежності від розмірів призм

$$k_{cd}^w = \frac{B}{1.076 \cdot B + 2,1289}; \quad (2)$$

B – поперечний розмір призми в сантиметра.

Дослідження зміни міцності бетону при нагріванні кубів до 120, 200 і 300°C

показали, що підвищені температури впливають на міцнісні властивості бетону як в нагрітому, так і в охолодженому станах після нагріву. В нагрітому стані кубова міцність бетону при 120°C зменшилась на 20%, за температури 200°C – на 28% і при нагріванні до 300°C – на 36% в порівнянні зі значеннями міцності за температури 20°C. В охолодженому стані за добу

після нагріву, кубова міцність бетону за температур 120°, 200° і 300°C зменшилась відповідно на 26%, 28% і 30%.

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

$$f_{cdt} = k_{cd,t} \cdot f_{cd}, \quad (3)$$

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

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

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

Експериментальні дослідження передбачали вивчення впливу короткочасних повторних навантажень при стиску на міцність і пружно-пластичні характеристики важкого бетону після зволоження його водою. Найбільш негативно на призмову міцність бетону впливає зволоження водою на протязі 2-4 діб, тому на основі попередньо випробуваних зразків у віці двох років були замочені на протязі двох діб і випробувані на небагаторазово повторні навантаження при різних значеннях їх верхніх і нижніх рівнів. Розрахункова кількість таких навантажень була прийнята рівним 10, після чого зразки розвантажувались до 0 і в подальшому були доведені до руйнування. На міцність найбільшого впливу надають небагато повторні навантаження з верхнім граничним рівнем $\eta_v = 0,6$ після “розрахункових” 10 циклів “завантаження-розвантаження”. На цьому рівні виникає найбільше збільшення призової міцності зволоженого бетону після 10-и разового прикладання навантажень в порівнянні з першим центральним стиском дослідних зразків.

За отриманими експериментальними даними міцності бетону після 2-х добового зволоження і прикладання розрахункового числа циклів повторного навантаження з визначеним верхнім рівнем η_v можна визначити коефіцієнт k_{cic} який залежатиме від даного рівня

$$k_{cic} = f_{cd,cic}^w / f_{cd}^w \quad (4)$$

Отримані значення коефіцієнта k_{cic} за верхнім рівнем навантаження

Рівень η_v	0,3	0,4	0,5	0,6	0,605	0,61
k_{cic}	1,0	1,07	1,1	1,25	1,0	0,8

Сумісний вплив 2-х добового зволоження і короточасних повторних навантажень на міцність бетону з урахуванням масштабного фактора можна визначити за формулою

$$f_{cd,cic}^w = k_{cic} \cdot f_{cd}^w = k_{cd}^w \cdot k_{cic} \cdot f_{cd}^w, \quad (5)$$

де k_{cd}^w – коефіцієнт, визначений за формулою (2).

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

$$\gamma_{cic} = f_{cd,cic}^t / f_{cd}^t, \quad (6)$$

Величини коефіцієнта γ_{cic} за верхнім рівнем навантаження

Рівень η_v	0,32	0,43	0,51	0,60	0,65	0,50
γ_{cic}	1,00	1,01	1,03	1,105	1,08	0,95

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

$$f_{cd,cic}^t = \gamma_{cic} \cdot f_{cd}^t = \gamma_{cic} \cdot \gamma_{cd}^t \cdot f_{cd}^t, \quad (7)$$

де γ_{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 короточасно-повторних навантажень в умовах вологості та одностороннього короточасного нагрівання. В результаті досліджень балок встановлено, що

на міцність нормальних перерізів суттєво впливає 2-х-4-х добове зволоження стиснутої зони, знижуючи її. Руйнування “вологих” залізобетонних згинальних елементів виникає при досягненні в поздовжній робочій арматурі напружень рівних f_{yd} . Небагатоповторні навантаження з прийнятими граничними їх рівнями, суттєвих змін в міцності нормальних перерізів “сухих” зразків не визвали. В зволоженому стані руйнуючі згинальні моменти

зменшились від 3,6% до 11% в залежності від прийнятого армування балок.

В якості розрахункової моделі приймається згинальний залізобетонний елемент з повністю зволоженою стиснутою зоною. При роботі стиснутої зони бетону з напруженнями $\sigma_{cp} \geq 0,605 \cdot f_{cd}$ за дії короточасних повторних навантажень після зволоження проходять мікро- та макроруйнування крайніх найбільш навантажених волокон, зменшується їх міцність, за рахунок чого епюра напружень змінюється, збільшується її висота, зменшується плече внутрішньої пари сил. Несучу здатність зволоженого залізобетонного елемента з одиночною арматурою при дії короточасних повторних навантажень за нормальними перерізами можна визначати за формулою

$$M \leq f_{cd}^w \cdot k_{cic} \cdot b \cdot \lambda_x (d - 0,5 \cdot \lambda_x), \quad (8)$$

де k_{cic} – табличний коефіцієнт, який визначається за формулою (4) в залежності від σ_{cp} при верхньому рівні короточасного повторного навантаження. Середній рівень напружень σ_{cp} для оцінки коефіцієнта k_{cic} визначається на рівні центра ваги умовного трикутника епюри стиснутої зони

$$\sigma_{cp} = 2/3 \cdot \sigma_{\max} (\omega + 0,5), \quad (9)$$

де ω – коефіцієнт повноти епюри напружень; σ_{\max} – максимальне значення нормальних напружень при верхньому рівні повторних навантажень

При виконанні розрахунків згинальних залізобетонних елементів за несучою здатністю під впливом підвищених технологічних температур за дії короточасного повторного навантаження, внесені пропозиції удосконалити традиційну методику розрахунку з урахуванням змін механічних характеристик бетону, які базуються на отриманих результатах досліджень залізобетонних балок за короточасних 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 одиночною арматурою, які зазнали негативного впливу підвищених температур зі сторони стиснутої зони бетону

та працюють за дії короточасних повторних навантажень, можна записати у вигляді

$$M \leq f_{cd} \cdot \gamma_{cd}' \cdot \gamma_{cic} \cdot b \cdot \lambda_x \cdot (d - 0,5 \cdot \lambda_x), \quad (10)$$

де γ_{cd}' – коефіцієнт, що враховує вплив на міцність бетону підвищених технологічних температур;

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

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

$$f_{yd} \cdot A_s \leq f_{cd} \cdot \gamma_{cd}' \cdot \gamma_{cic} \cdot b \cdot \lambda_x, \quad (11)$$

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 короточасних повторних навантажень, відрізняються від отриманих теоретичних результатів. Теоретичні значення руйнівних моментів, які визначені за приведеними формулами (10), (11), отримані дещо заниженими в порівнянні з дослідними величинами моментів. Так при одноразовому навантаженні, розбіжність між дослідними і теоретичними значеннями руйнівних моментів становить 11%, за короточасного нагрівання до 120°C при одноразовому навантаженні – на 9% і за короточасних 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 короточасно повторного навантажень під впливом одностороннього нагрівання згинального елемента.

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

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

3. Визначальним фактором, який впливає на якісний стан бетону при зволоженні та нагріванні є верхній рівень η_v прикладання небагатоповторних короточасних навантажень.

4. Небагатоповторні короточасні навантаження з прийнятими граничними їх рівнями, суттєвих змін міцності нормальних перерізів зволжених та нагрітих дослідних зразків не визивали. В зволоженому стані руйнуючі згинальні моменти зменшувались від 3,5 до 11%, а при нагріванні до 120° – від 7,5 до 9%.

5. Внесені пропозиції до удосконалення формул розрахунку міцності нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів з вологою, або ,нагрітою до 120°С стиснутою зоною бетону після прикладання короточасного повторного навантаження.

1.Бабич С.М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень: монографія / С.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.