

**ВПЛИВ ТРИВАЛОГО ЗВОЛОЖЕННЯ НА ДЕСТРУКТИВНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАЖКОГО БЕТОНУ**

**INFLUENCE OF PROLONGED MOISTURE ON THE DESTRUCTIVE
CHARACTERISTICS OF HEAVY CONCRETE**

Гомон С.С., д.т.н., проф., ORCID 0000-0003-2080-5650, **Гомон Св. Св.**, д.т.н., проф., ORCID 0000-0001-9818-1804, **Гомон П.С.**, к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-5312-0351, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Gomon S.S., doctor of technical sciences, professor, **Homon S.S.**, doctor of technical sciences, professor, **Gomon P.S.**, candidate of technical sciences, associate professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

В статті наведено результати експериментально-теоретичних досліджень впливу тривалого зволоження на поведінку важкого бетону за дії короткочасних навантажень. Встановлено, що за короткочасного стиску в бетоні, після тривалого зволоження, проходять процеси дещо відмінні від процесів, що проходять в «сухому» бетоні. І це добре відслідковується на дослідженні деструктивних характеристик та міцності бетону одного і того ж складу.

The description of the occurrence of changes in the stress-strain state of concrete and its physico-mechanical properties under the action of short-term loading directly depends on the duration of its wetting with water, i.e. on the changes in the internal stress state caused by this phenomenon, along with the action of the absorption wedging action of water in the defects and pores of the concrete structure and the excess pressure in these pores. It was found that simultaneously with these processes, the destruction of some and the creation of other physico-mechanical and physico-chemical bonds between the solution and the aggregate, the solution and water. Only the chemical bonds remain unchanged. This leads to a change in the properties of the capillary-porous body of concrete.

During this period of load application, continuous compaction of concrete occurs to the lower limit of longitudinal microcrack formation. Subsequently, with increasing compressive loads, the moistened concrete undergoes decompression, its volume begins to increase and at a certain level reaches the initial values. This level corresponds to the upper limit of longitudinal microcrack formation and development. With further increase in load,

microcracks in concrete also grow and a critical level of microcrack development is reached, which, merging, create a macrocrack.

It has been established that with prolonged moistening of heavy concrete for 2-4 days, the strength decreases to 27% of the initial one with subsequent recovery to 40-60 days of moistening, and subsequently exceeds the initial one. Destructive coefficients k_{crc}^0 , k_{crc}^v , k_{crc}^{cr} showing physical and mechanical changes in the internal structural state of heavy concrete also change, repeating to one degree or another the change in the strength of concrete from the action of prolonged moistening.

Ключові слова: важкий бетон, зволоження, короточасні навантаження, структурні напруження.

Heavy concrete, moisture, chort-term loads, structural stresses.

Вступ. У групі конструкцій з важкого бетону, деревини велика кількість елементів гідротехнічних, промислових та громадських будівель і споруд працюють в умовах випадкового чи періодичного одностороннього тривалого зволоження [1-12] навіть за дії короточасних навантажень [13-16]. Уміння достовірно оцінювати напружено деформований стан конструкцій при проектуванні і роботі їх різних умовах дає можливість в більшій мірі задовольняти технічним, експлуатаційним та економічним вимогам.

Проблема вивчення тривалих процесів в бетонному масиві складається з трьох задач:

1. Достовірне вивчення всіх процесів, що проходять в бетоні і залізобетоні та виявленні всіх багато чисельних факторів які впливають на їх розвиток.
2. Розкриття суті проходження процесів.
3. Опис проходження цих процесів за допомогою механіки та математики в часі з різноманіттям зовнішніх та внутрішніх умов та визначення їх впливу на напружено-деформований стан бетонних та залізобетонних елементів.

Отже, для виявлення впливу тривалого зволоження на зміну напружено-деформованого стану в згинальних, стиснутих чи стиснуто-згинальних залізобетонних елементах необхідно спочатку вивчити цей вплив на фізико-механічні властивості бетону.

Стан питання. Зміна напружено-деформованого стану бетону і його фізико-механічних властивостей за дії короточасного навантаження також залежить від тривалості зволоження його водою, тобто від внутрішнього напруженого стану викликаного цим явищем [1-6] поряд з дією абсорбційного розклинюючої дії води в дефектах і порах структури бетону [17,18] та надлишковому тиску в цих порах. Одночасно з цим процесами проходить руйнування одних та створення інших фізико-механічних та фізико-хімічних зв'язків між розчином та заповнювачем, розчином та водою.

Лише хімічні зв'язки лишаються незмінними. Це і приводить до зміни властивостей капілярно-пористого тіла бетону. Так як за інтенсивного набрякання внаслідок перших двох діб зволоження бетону водою в бетоні з'являються внутрішньо структурні напруження, то за дії навіть короткочасного навантаження проходять значні зміни деструктивних та міцнісних властивостей [18].

Методика експериментальних досліджень. Бетонні зразки призм виготовлені на базі гранітного каменю Клесівського кар'єру з об'ємною масою $\rho_{цф}=1,42\text{т/м}^3$ крупністю 5.10-10.20. В бетонний суміші використаний був також пісок сірий дрібнозернистий з модулем крупності $M_k=1,22$ та портландцемент активністю 400. Склад бетонної суміші Ц:П:Ц=3,29:1,75:1 з водо цементним відношенням В/П=0,52. Для замішування розчину використовувалася побутова вода. Розчин бетону був виготовлений з осадкою конуса 7см. Призми виготовлені в горизонтальному положенні.

Дослідження впливу тривалого зволоження на деструктивні характеристики важкого бетону проводилися на призмах розмірами 10х10х40см у віці 90 діб. Випробування призм проводилося, як «сухих», так і зволжених на протязі 2-х, 4-х, 6-и, 8-и, 65-и діб. Зволоження побутовою водою проводилося в металевих резервуарах. Середні значення міцності визначалося не менше як по трьом зразкам. Повздовжні та поперечні середні деформації бетону визначалися по чотирьом сторонам призми за допомогою індикаторів ІМИГ.

Швидкість зростання повздовжніх відносних деформацій в зволоженому бетоні, як і в сухому, спочатку завантаження вище швидкості росту поперечних відносних деформацій. В цей період прикладення навантаження проходить безперервне ущільнення бетону до нижньої межі утворення повздовжніх мікротріщин $\eta_{crc}^0 = f_{crc}^0 / f_b$. В подальшому зі зростанням стискаючих навантажень проходить розущільнення зволоженого бетону, об'єм його починає збільшуватися і на певному рівні досягає початкових величин. Цей рівень відповідає верхній межі $\eta_{crc}^v = f_{crc}^v / f_b$ утворення та розвитку повздовжніх мікротріщин. За подальшого зростання навантаження проходить і зростання мікротріщин в бетоні і досягається критичний рівень розвитку мікротріщин $\eta_{crc}^{cr} = f_{crc}^{cr} / f_b$, які об'єднуючись створюють макротріщину.

Результати досліджень. Визначення значень нижнього η_{crc}^0 , верхнього η_{crc}^v та критичного η_{crc}^{cr} рівнів утворення та розвитку повздовжніх мікротріщин визначаємо аналітично за допомогою формул:

$$\eta_{crc}^{cr} = \frac{\sqrt[3]{\lambda_{l,f} \cdot E_{0,lr}} - \sqrt[3]{2\lambda_{l,f} \cdot E_{0,l}}}{\lambda_{lr,f} \sqrt[3]{\lambda_{l,f} \cdot E_{0,lr}} - \lambda_{l,f} \sqrt[3]{2\lambda_{lr,f} \cdot E_{0,l}}} ; \quad (1)$$

$$\eta_{crc}^v = \frac{\sqrt{E_{0,tr}} - \sqrt{2E_{0,l}}}{\lambda_{tr,f} \sqrt{E_{0,tr}} - \lambda_{l,f} \sqrt{2E_{0,l}}}; \quad (2)$$

$$\eta_{crc}^{cr} = \frac{E_{0,tr} - 2E_{0,l}}{\lambda_{tr,f} E_{0,tr} - 2\lambda_{l,f} E_{0,l}},$$

(3)

де f_{crc}^0 – напруження, що відповідає значенням нижнього рівня утворення повздожніх мікротріщин;

f_{crc}^v – напруження, що відповідає значенням верхнього рівня утворення повздожніх мікротріщин;

f_{crc}^{cr} – напруження, що відповідає значенням критичного рівня утворення та розвитку повздожніх мікротріщин;

f_b – тимчасове значення призової міцності бетону;

$\lambda_{l,f}; \lambda_{tr,f}$ – коефіцієнти пластичності повздожніх і поперечних деформацій бетону;

$E_{0,l}; E_{0,tr}$ – початкові модулі пружності за стиску та розтягу.

Також для бетону з різним терміном зволоження визначалися і коефіцієнти поперечних деформацій: початковий

$$\mu_0 = E_{o,l} / E_{0,tr}; \quad (4)$$

граничний

$$\mu_b = E'_{0,l} / E'_{0,tr}. \quad (5)$$

Були встановлені також коефіцієнти змін рівнів утворення та розкриття повздожніх мікротріщин: нижнього

$$k_{crc}^0 = \eta_{crc}^{0,w} / \eta_{crc}^0; \quad (6)$$

верхнього

$$k_{crc}^v = \eta_{crc}^{v,w} / \eta_{crc}^v; \quad (7)$$

критичного

$$k_{crc}^{cr} = \eta_{crc}^{cr,w} / \eta_{crc}^{cr}. \quad (8)$$

Визначено і коефіцієнт впливу тривалого зволоження на тимчасову міцність бетону

$$k_b^w = f_b^w / f_b. \quad (9)$$

Після камеральної обробки отриманих експериментальних результатів дані по встановлених значеннях μ_0 , μ_b , η_{crc}^0 , η_{crc}^v , η_{crc}^{cr} занесені до таблиці 1.

Таблиця 1

Значення поперечних деформацій, верхнього, нижнього та критичного рівнів повздовжнього мікротріщиноутворення сухого та зволоженого бетону

Марка призм	μ_0	μ_b	η_{crc}^0	η_{crc}^v	η_{crc}^{cr}
П10С90	0,258	0,696	0,358	0,685	0, 899
П10С90В2	0,233	0,208	0,286	0,336	0,661
П10С90В4	0,374	0,219	0,253	-	-
П10С90В6	0,398	0,561	0,316	0,661	0,887
П10С90В8	0,420	-	0,474	0,690	0,857
П10С90В65	0,180	0,571	0,617	0,823	0,979
П10С90В50С10	0,194	0,914	0,676	0,806	0,940
П10С150	-	-	0,662	0,813	0,936

Отримані результати деструктивних характеристик сухого та зволоженого важкого бетону k_{crc}^0 , k_{crc}^v , k_{crc}^{cr} , k_b^w приведено в табл. 2.

Таблиця 2

Деструктивні характеристики сухого та зволоженого важкого бетону

Марка призм	k_{crc}^0	k_{crc}^v	k_{crc}^{cr}	k_b^w
П10С90	1,000	1,000	1,000	1,000
П10С90В2	0,799	0,491	0,785	0,735
П10С90В4	0,707	-	-	0,809
П10С90В6	0,883	0,965	0,987	0,824
П10С90В8	1,324	1,007	0,953	0,953
П10С90В65	1,723	1,201	1,089	1,074
П10С90В50С10	1,888	1,187	1,046	1,126

Як видно з таблиці 2 міцність важкого бетону за зволоження на протязі 2-4 діб зменшується на 27% з подальшим відновленням до 40-60 діб зволоження, а згодом перевищує початкову. Також і деструктивні коефіцієнти k_{crc}^0 , k_{crc}^v , k_{crc}^{cr} змінюються, повторюючи в тій чи іншій мірі зміну міцності бетону від дії тривалого зволоження.

Висновки

1. За тривалого зволоження важкого бетону на протязі 2-4 діб міцність зменшується до 27% від початкової з подальшим відновленням до 40-60 діб зволоження, а згодом перевищує початкову.

2. Деструктивні коефіцієнти k_{crc}^0 , k_{crc}^v , k_{crc}^{cr} , що показують фізико-механічні зміни внутрішньо структурного стану важкого бетону також змінюються, повторюючи в тій чи іншій мірі зміну міцності бетону від дії тривалого зволоження.

1. Фенко Г.А. Вплив власних напружень на властивості бетону: автореф. дис. . канд. техн. наук. Дніпропетровськ, 1972. 24 с.

Fenko H.A. Vplyv vlasnykh napruzhen' na vlastyvyosti betonu: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. Dnipropetrovs'k, 1972. 24 s.

2. Гомон С.С., Макаренко Л.П. Врахування впливу сумісної дії вологи та повторних навантажень при розрахунках міцності перерізів залізобетонних елементів. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2014. Випуск 28. С. 157-161.

Gomon S.S., Makarenko L.P. Vrachuvannya vplyvu sumisnoyi diyi volohy ta povtornykh navantazhen' pry rozrakhunkakh mitsnosti pereriziv zalizobetonnykh elementiv. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2014. Vypusk 28. S. 157-161.

3. Зінчук М.С., Гомон С.С. Вплив структурних напружень на міцність бетону. Сталезалізобетонні конструкції: Кривий Ріг, 1998. С. 68-70.

Zinchuk M.S., Homon S.S. Vplyv strukturnykh napruzhen' na mitsnist' betonu. Stalezalizobetonni konstruktsiyi: Kryvyi Rih, 1998. S. 68-70.

4. Dvorkin L., Bordiuzhenko O., Zhitkovsky V., Homon S., Gomon S. Mechanical Properties and Design of Concrete with Hybrid Steel and Basalt Fiber. E3S Web of Conferences, 2021, 264, 02030.

5. Гомон С.С. Структурні напруження бетону за стискаючих навантажень з врахуванням фактора середовища. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Випуск 5. Рівне, 2001. С. 146-151.

Gomon S.S. Strukturni napruzhennya betonu za styskayuchykh navantazhen' z vrakhuvannyam faktora seredovyshcha. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Vypusk 5. Rivne, 2001. S. 146-151.

6. Погореляк А.П., Гомон С.С. Влияние собственных напряжений на призмную прочность при интенсивных усадке-набухании. Гидромелиорация и гидротехническое строительство, 1989. Випуск 17. С. 97-102.

Pogorelyak A.P., Gomon S.S. Vliyanie sobstvennykh napryazheniy na prizmennuyu prochnost' pri intensivnykh usadke-nabukhanii. Gidromelioratsiya i gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo, 1989. Vypusk 17. S. 97-102.

7. Гомон С.С., Поліщук М.В. Експериментально-статистичні дослідження січного модуля пружності деревини в залежності від тривалості насичення водою. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2018. Випуск 36. С. 96-101.

Gomon S.S., Polishchuk M.V. Eksperymental'no-statystychni doslidzhennya sichnoho modulya pruzhnosti derevyny v zalezhnosti vid trvalosti nasychennya vodoju. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2018. Vypusk 36. S. 96-101.

8. Гомон Св.Св., Гомон С.С., Матвіюк О.В., Верешко О.В., Чорномаз В.Ю. Застосування деревини в умовах агресивних середовищ. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк: ЛНТУ, 2022. Випуск 17. С.15-22.

Homon Sv.Sv., Gomon S.S., Matviyuk O.V., Vereshko O.V., Chornomaz V.YU. Zastosuvannya derevyny v umovakh ahresyvnykh seredovyshch. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Luts'k: LNTU, 2022. Vypusk 17. S.15-22.

9. Homon S., Gomon P., Gomon S., Dovbenko T., Savitskiy V., Matviiuk O., Kulakovskiy L., Bronytskiy V., Bosak A., Chornomaz N. (2022). Experimental and statistical studies of the initial module of elasticity and the module of deformations of

continuous wood at different ages and moisture content. AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research, 2022, 12(1). Special issue XXV. Pp. 321-326.

10. Janiak T., Homon S., Karavan V., Gomon P., Gomon S.S., Kulakovskiy L., Famulyak Y. (2023). Mechanical properties of solid deciduous species wood at different moisture content. AIP Conference Proceedings 2949, article number 020009.

11. Homon, S., Litnitsky, S., Gomon, P., Kulakovskiy, L., Kutsyna, I. (2023). Methods for determining the critical deformations of wood with various moisture content. Scientific Horizons 26(1), 73-86.

12. Roshchuk M., Homon S., Pavluk A., Gomon S., Drobyshynets S., Romaniuk M., Smal M., Dziubynska O., 2024. Effect of long-term moisture on the mechanical properties of wood: an experimental study. Procedia Structural Integrity 59, 718-723.

13. Gomon S., Romanyuk V., Ziatyuk Y., Marchuk V., Nalepa O. Effective methods to strengthen the bending reinforced concrete elements. Acta Scientiarum Poloniarum Architectura, 2022. P. 51-56.

14. Гомон С.С., Гомон С.С. Особливості роботи будівельних конструкцій з деревини при дії повторних навантажень за критерієм деформаційного руйнування. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2014. Випуск 28. С. 151-156.

Gomon S.S., Homon S.S. Osoblyvosti roboty budivel'nykh konstruktсий z derevyny pry diyi povtornykh navantazhen' za kryteriyem deformatsynoho ruynuvannya. Resursoekonomni materialy, konstruktсийi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2014. Vypusk 28. S. 151-156.

15. Gomon S.S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., Sobczak-Piąstka J. [Investigation of solid and glued wood on the effect of variables of low-cycle repeated loads](#). AIP Conference Proceedings, 2019, 2077.

16. Гомон С.С., Глогов'як В.Ц., Мацьоха Л.Є., Стасюк І.О. Процес деформування нагельного з'єднання з деталей сухої та вологої деревини. Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: РДТУ, 2000. Випуск 5. С. 152-157.

Gomon S.S., Hlohov'yak V.TS., Mats'okha L.YE., Stasyuk I.O. Protses deformuvannya nahel'noho z'yednannya z detaley sukhoyi ta volohoyi derevyny. Resursoekonomni materialy, konstruktсийi, budivli ta sporudy. Rivne: RDTU, 2000. Vypusk 5. S. 152-157.

17. Панцхава С.А. Про вплив вологого середовища на тривалі деформації згинальних елементів із армованого бетону: дис.. канд.. техн.. наук. Тбілісі. 1973. 157с.

Panchava S.A. Pro vplyv volohoho seredovyshcha na tryvali deformatsiyi z'hynal'nykh elementiv iz armovanoho betonu: dys.. kand.. tekhn.. nauk. Tbilisi. 1973. 157s.

18. Гомон С.С. Міцність та деформативність залізобетонних згинальних елементів за небагато-повторних навантажень і тривалому впливу вологого середовища: автореф. дис.. канд.. техн.. наук. 05.23.01. Полтава. 1995. 24с.

Gomon S.S. Mitsnist' ta deformativnist' zalizobetonnykh z'hynal'nykh elementiv za nebahato-povtornykh navantazhen' i tryvalomu vplyvu volohoho seredovyshcha: avtoref. dys. kand. tekhn..nauk. 05.23.01. Poltava. 1995. 24s.