

УДК 624.012.044

ДЕФОРМУВАННЯ ДРІБНОЗЕРНИСТОГО ТА КРУПНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНІВ ЗА МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ СЕРЕДНЬОГО ТА ВИСОКОГО РІВНІВ

ДЕФОРМИРОВАНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО И КРУПНО-ЗЕРНИСТОГО БЕТОНОВ ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЖЕНИЯХ СРЕДНЕГО И ВЫСОКОГО УРОВНЕЙ

DETERMINATION OF BLACK-SIZED AND LARGE-SIZED CONCRETES FOR MULTI-CYCLE LOADS OF MEDIUM AND HIGH LEVELS

Панчук Ю.М., к.т.н., доцент, (Національний університет водного господарства та природокористування м. Рівне)

Панчук Ю.М., к.т.н., доцент, (Национальный университет водного хозяйства и природопользования г. Ривне)

Panchuk Y.M., candidate of technical sciences, (National university of water management and nature resources use, Rivne)

Наведені результати досліджень деструктивних характеристик дрібнозернистого та крупнозернистого бетонів за малоциклових навантажень середнього і високого рівнів. Побудовані діаграми об'ємного деформування бетонів, дозволяють простежити за тенденцією деформування матеріалу із зростанням кількості циклів навантаження.

Приведены результаты исследований деструктивных характеристик мелкозернистого и крупнозернистого бетонов при малоцикловых нагрузениях среднего и высокого уровней. Построенные диаграммы объемного деформирования бетонов, позволяют проследить за тенденцией деформирования материала при увеличении циклов приложения нагрузки.

The upper level of low cycle load affects the work of concrete for low cycle loads. Built diagrams of volumetric deformation allow us to clearly trace the tendency of concrete deformation with increasing number of loading cycles. Thus, for low-cycle compressive loads of the average level, there is consolidation of concrete with subsequent stabilization of volumetric relative deformations, and repeated loads of high levels lead to a gradual from the cycle to the cycle of dissolution of the structure of the material and, as a result of the development of trunk microcracks separation, its destruction occurs.

That is, there is a level of low-cycle load, in which the excess of dissipation and destruction of concrete takes place, and when the loads are lower than this level, there is a seal of the material and stabilization of deformations. Such a level is considered a level of low-cycle fatigue (fitness) of the material.

Ключові слова:

Бетон, напружено-деформований стан, деформації, малоциклові навантаження

Бетон, напряженно-деформированное состояние, малоцикловые нагрузки
Concrete, stress-deformed state, deformation, low cycle load

Вступ. Під час дії зростаючого стискаючого навантаження відбувається зміна об'єму зразка [1]. Спочатку відбувається ущільнення бетону, його об'єм зменшується, потім проходить процес розущільнення матеріалу, розвиток мікротріщин, які об'єднуючись утворюють макротріщини, що призводить до руйнування при збільшенні об'єму зразка.

Мета. Зміна об'ємних деформацій обумовлена деструктивними процесами, що проходять в бетоні, а також характеризується граничними рівнями виникнення і розвитку мікро- та макротріщин. Відносно об'ємну деформацію бетону ϵ_v за короткочасного центрального стиску визначають за формулою:

$$\epsilon_v = \epsilon_t - 2 \epsilon_{tr} \tag{1}$$

де: $\epsilon_t, \epsilon_{tr}$ – відносні поздовжні та поперечні деформації.

Основна частина. Статистична обробка дослідних даних, отриманих [2,3,4,5] свідчить про те, що залежність «напруження - січний модуль пружно-пластичності» ($\sigma - E'_b$) при стисканні бетонних призм, завантажених з постійною швидкістю зростання напружень, можна прийняти лінійною до моменту руйнування бетонного зразка при нелінійній гіперболічного виду залежності « $\sigma - \epsilon$ »:

$$E' = \frac{\sigma}{\epsilon} = E_b - \frac{E_b - E'_R}{R_b} \sigma = E_b \left(1 - \frac{E_b - E'_R}{R_b} \frac{\sigma}{R_b} \right) \tag{2}$$

$$\frac{E_b - E'_R}{R_b} = \lambda_R = 1 - \nu_R = 1 - \frac{\epsilon_{el}}{\epsilon_b^M} = \frac{\epsilon_{pl}}{\epsilon_b^M} \tag{3}$$

де: λ_R, ν_R – граничні значення (при $\sigma = R_b$) коефіцієнтів пластичності і пружності; ϵ_{el} – пружні відносні деформації; ϵ_{pl} – відносні деформації швидкокатікаючої повзучості; ϵ_b^M – повні відносні деформації бетону. Після підстановки (3) в (2), враховуючи, що $\eta = \frac{\sigma}{R_b}$, залежність (2) набуває такого вигляду:

$$E' = \frac{\sigma}{\epsilon} = E_b (1 - \lambda_R \eta) \tag{4}$$

Матеріали, склад дрібнозернистого та крупнозернистого бетонів для витовтвлення зразків призм, а також методика і результати

експериментальних досліджень малоцикловими стискаючими навантаженнями наведені в [6].

В результаті математичної обробки дослідних даних випробування призм з дрібнозернистого (ДЗБ) та крупнозернистого (КЗБ-2) бетонів за [7], отримані лінійні рівняння регресії $E'_{bl} - \eta$, $E'_{btr} - \eta$:

$$E'_{bl} = \frac{\sigma}{\varepsilon_l} = E_{bl}(1 - \lambda_{lR}\eta) \quad (5)$$

$$E'_{btr} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{tr}} = E_{btr}(1 - \lambda_{trR}\eta) \quad (6)$$

Після підстановки (5) і (6) в (1) отримаємо:

$$\varepsilon_v = \frac{R_b \eta}{E_{bl}(1 - \lambda_{lR}\eta)} - 2 \frac{R_b \eta}{E_{btr}(1 - \lambda_{trR}\eta)} \quad (7)$$

Значення верхнього, нижнього і критичного рівнів утворення і розвитку поздовжніх мікро- і макротріщин відриву визначали математичною обробкою залежності (1) [7], в результаті отримані наступні аналітичні залежності:

$$\eta_{crc}^{low} = \frac{\sqrt[3]{\lambda_{lR} E_{btr}} - \sqrt[3]{2\lambda_{trR} E_{bl}}}{\lambda_{trR} \sqrt[3]{\lambda_{lR} E_{btr}} - \lambda_{lR} \sqrt[3]{2\lambda_{trR} E_{bl}}} \quad (8)$$

$$\eta_{crc}^{top} = \frac{\sqrt{E_{btr}} - 2\sqrt{2E_{bl}}}{\lambda_{trR} \sqrt{E_{btr}} - \lambda_{lR} \sqrt{2E_{bl}}} \quad (9)$$

$$\eta_{crc}^{cr} = \frac{E_{btr} - 2E_{bl}}{\lambda_{trR} E_{btr} - 2\lambda_{lR} E_{bl}} \quad (10)$$

тут: λ_{lR} , E_{bl} ; λ_{trR} , E_{btr} – коефіцієнти пластичності і початкові модулі пружності відповідно поздовжніх і поперечних деформацій.

При навантаженнях, що не перевищують η_{crc}^{low} проходить нерівномірно-прискорене ущільнення бетону за рахунок розвитку пластичних деформацій цементного каменю, діаграма $\varepsilon_v - \eta$ повернена опуклістю до осі η і при η_{crc}^{low} вона змінює знак кривизни до осі ε_v . При цьому об'ємне деформування за рахунок утворення поздовжніх мікротріщин переходить в нерівномірно-уповільнене. В діапазоні напружень $\eta_{crc}^{low} < \eta < \eta_{crc}^{top}$ пластичні деформації цементної решітки перевищують деформації, обумовлені розвитком поздовжніх мікротріщин, при цьому відбувається уповільнене ущільнення структури і зменшення об'єму бетону. При η_{crc}^{top} діаграма $\varepsilon_v - \eta$ змінює свій напрямок за рахунок розвитку поздовжніх мікротріщин, тобто переходить з нерівномірно-уповільненого ущільнення і зменшення об'єму в нерівномірно-прискорене розущільнення бетону і збільшення його об'єму. При рівні напружень η_{crc}^{top} відбувається максимальне ущільнення бетону $\varepsilon_v = \varepsilon_{v,max}$. При напруженнях в межах $\eta_{crc}^{top} < \eta < \eta_{crc}^{cr}$ деформації поздовжнього мікротріщиноутворення перевищують лінійні пластичні деформації цементної складової, при цьому відбувається збільшення об'єму V до

початкового V_0 . Мікротріщини накладаються одна на одну і утворюють магістральні макротріщини відриву. За граничного рівня $\eta_{\text{срс}}^{\text{ср}}$ об'ємні відносні деформації дорівнюють нулю $\epsilon_v = 0$, цей рівень прийнято вважати якісною межею деструктивного процесу в розвитку напружено-деформованого стану бетону [10].

Підставивши відповідні значення $E_{\text{срс}}, \lambda_{\text{срс}}, E_{\text{срс}}, \lambda_{\text{срс}}$, отримані з дослідно-кореляційних рівнянь регресії для окремого i -того циклу малоциклового навантаження в залежність (1), визначено об'ємну деформацію бетону ϵ_v на i -тому циклі навантаження.

Характерні діаграми об'ємного деформування ($\epsilon_v - \eta$) дрібно- та крупнозернистого бетонів за малоциклового центрального стиску зі зміною кількості циклів прикладання навантаження $n_{\text{срс}}$ наведені на рисунку 1а,б. З діаграм об'ємного деформування ϵ_v , побудованих за малоциклових стискаючих навантажень високих рівнів ($\eta = 0,78 \dots 0,86$) видно, що при збільшенні кількості циклів навантаження $n_{\text{срс}}$ відбувається поступове від циклу до циклу зменшення значень об'ємного ущільнення. Так, для дрібнозернистого бетону (ДЗБ) (рис.1а) значення максимального об'ємного ущільнення, яке на 1-му циклі навантаження склало $50,0 \times 10^{-5}$, при дії малоциклових навантажень знизилось і на 2-му та 3-му циклах склало відповідно $28,6 \times 10^{-5}$ і $23,7 \times 10^{-5}$, на 5-му циклі зменшилось до $12,58 \times 10^{-5}$, а на 7-му циклі становило $4,56 \times 10^{-5}$. В межах з 10-го по 35-й цикли навантажень визначені об'ємні відносні деформації бетону набули від'ємних значень, які зі зростанням кількості циклів мали тенденцію до зменшення. Від'ємні значення величин об'ємного деформування ϵ_v свідчать про настання процесів розущільнення структури бетону, які супроводжуються незворотнім збільшенням об'єму бетону V відносно початкової його величини V_0 .

Очевидно в цьому діапазоні циклів навантажень, внаслідок розвитку поздовжніх магістральних мікротріщин відриву, відбувається незворотній процес руйнування бетону.

Значення максимального об'ємного ущільнення $\epsilon_{v \text{max}}$ визначене для крупнозернистого бетону (КЗБ2) (рис.1б) на 1-му циклі, склало $41,12 \times 10^{-5}$, при збільшенні кількості циклів прикладання навантаження відбувається його зниження. Так, на 2-му і 5-му циклах повторного навантаження значення $\epsilon_{v \text{max}}$ зменшились і склали відповідно $23,28 \times 10^{-5}$ і $19,81 \times 10^{-5}$, а ці ж значення, визначені для 10-го, 20-го і 30-го циклів навантаження становили відповідно $14,45 \times 10^{-5}$, $7,66 \times 10^{-5}$ і $5,16 \times 10^{-5}$.

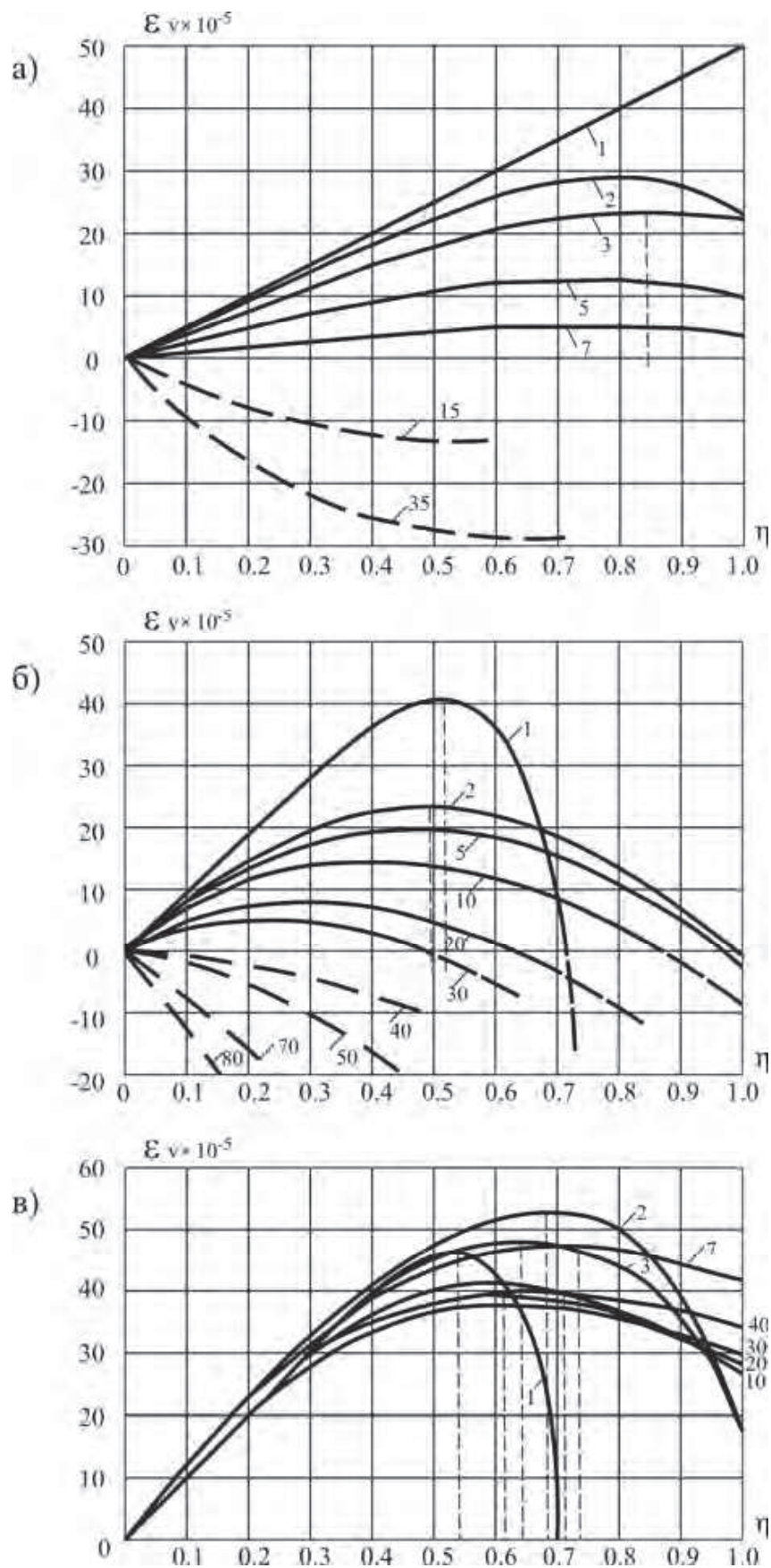


Рис. 1 Діаграми об'ємного деформування бетонів за малоциклового осьового стиснення: а) ДЗБ; б) КЗБ2 ($\eta = 0,78$); в) КЗБ2 ($\eta = 0,6$)

Починаючи з 40-го циклу до руйнування бетону (89 цикл) об'ємні відносні деформації бетону $\epsilon_{\text{в}}$, визначені на цих циклах, мають від'ємні значення, зменшуючись зі зростанням кількості циклів прикладання навантаження, проходить процес незворотнього розуцільнення і руйнування бетону.

Для встановлення більш повної картини об'ємного деформування крупнозернистого бетону (КЗБ2) були проведені експериментальні дослідження бетонних призм на вплив малоциклових навантажень середнього рівня, який приймали рівним $\eta_{\text{с}} = 0,6$. Аналіз отриманих в результаті випробувань діаграм об'ємного деформування бетону (рис.1,в.) вказує на те, що значення $\epsilon_{\text{вmax}}$ на перших 5-ти циклах зростають, що свідчить про ущільнення матеріалу. Так, значення максимального об'ємного ущільнення, визначені на 1-му, 2-му і 5-му циклах склали відповідно $46,5 \times 10^{-5}$; $53,22 \times 10^{-5}$ і $51,25 \times 10^{-5}$, при наступному збільшенні кількості циклів прикладання навантаження з 10-го по 40-ий цикли поряд з деяким зменшенням максимального об'ємного ущільнення $\epsilon_{\text{вmax}}$, спостерігається його стабілізація ($\epsilon_{\text{в}} = 37,04 \dots 41,58 \times 10^{-5}$).

Висновки. Дослідження напружено-деформованого стану зразків з дрібно- та крупнозернистого бетону виявили наступні особливості. Верхній рівень малоциклового навантаження впливає на роботу бетону за малоциклових навантажень. Побудовані діаграми об'ємного деформування дозволяють чітко простежити за тенденцією деформування бетону зі зростанням кількості циклів прикладання навантаження. Так, за малоциклових стискаючих навантажень середнього рівня, відбувається ущільнення бетону з наступною стабілізацією об'ємних відносних деформацій, а повторні навантаження високих рівнів призводять до поступового від циклу до циклу розуцільнення структури матеріалу і, внаслідок розвитку магістральних мікротріщин відриву, відбувається його руйнування. Тобто, існує такий рівень малоциклового навантаження, при перевищенні якого проходить розуцільнення і руйнування бетону, а при навантаженнях менших за цей рівень, відбувається ущільнення матеріалу і стабілізація деформацій. Такий рівень вважають рівнем малоциклової втомленості (приспосованості) матеріалу [8,9].

1.Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. –М.: Госстройиздат, 1961. -96с.

2. Бабич Е.М., Макаренко Л.П. Экспериментальное исследование модуля упругости бетонных образцов при различной интенсивности сжимающих нагрузок// Известия вузов. Строительство и архитектура. 1967. №3. –С. 20-27.

3. Макаренко Л.П., Фенко Г.А. Практический способ определения модуля упруго-пластических характеристик бетона при сжатии // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1970. -№10. –С.141-147.

4. Макаренко Л.П. Оценка деформаций бетонов с учетом нелинейной ползучести // Бетон и железобетон. – 1985. -№2. –С.25-26.

5. Макаренко Л.П. Рекомендации по экспериментально-статистической оценке прочностных, деформативных характеристик бетонов при кратковременном нагружении. –Ровно: ООП ВЦ Облмашинформа, 1987. -17с.

6. Панчук Ю.М. Експериментальні дослідження пружно-пластичних властивостей крупнозернистого бетону за малоциклових навантажень високих рівнів // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. статей (вип 23). –Рівне, 2012. –С.372-377.

7. Макаренко Л.П. Развитие и углубление существующих представлений о деформациях, деструкции и прочности бетона при сжатии // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1988. -№2. –С.1-6.

8. Бабич Е.М., Крусь Ю.А., Панчук Ю.Н. Влияние малоцикловых статических нагружений на прочность тяжелого бетона // Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях: тез. докл. междунаrod. научн.-практич. Конф. –Сумы, 1994. –С.168-171.

9. ГОСТ 23207-78. Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения. –М.: Издательство стандартов, 1978. -48 с.

10. Голуб А.В. Особенности прочностных и деформативных свойств бетона со шлаком ТЭС и их учет при расчете железобетонных конструкций: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. –Минск, 1990. – 22 с.

1. Verh O.Ia. Fyzycheskye osnovy teoryu prochnosti betona y zhelezobetona. –М.: Hosstroiyzdat, 1961. -96s.

2. Babych E.M., Makarenko L.P. Eksperymentalnoe yssledovanye modulia uprugosti betonnykh obraztsov pry razlychnoi yntensyvnostry szhymaiushchykh nahruzok// Yzvestyia vuzov. Stroytelstvo y arkhytektura. 1967. №3. –S. 20-27.

3. Makarenko L.P., Fenko H.A. Praktycheakyi sposob opredeleniya modulia uprugoplastycheskykh kharakterystyk betona pry szhatyy // Yzvestyia vuzov. Stroytelstvo y arkhytektura. – 1970. -№10. –S.141-147.

4. Makarenko L.P. Otsenka deformatsyi betonov s uchetom nelyneinoi polzuchesty // Beton y zhelezobeton. – 1985. -№2. –S.25-26.

5. Makarenko L.P. Rekomendatsyy po eksperymentalno-statystycheckoi otsenke prochnostnykh, deformatyvnykh kharakterystyk betonov pry kratkovremennom nahruzhenyy. –Rovno: OOP VTs Oblmashynforma, 1987. -17s.

6. Panchuk Yu.M. Eksperymentalni doslidzhennia pruzhno-plastychnykh vlastyvostei krupnozernystoho betonu za malotsyklovykh navantazhen vysokyykh rivniv // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zb. nauk. stattei (vyp 23). – Rivne, 2012. –S.372-377.

7. Makarenko L.P. Razvytye y uhlublenye sushchestvuiushchykh predstavleni o deformatsiyakh, destruktssy y prochnosty betona pry szhatyy // Yzvestyia vuzov. Stroytelstvo y arkhytektura. – 1988. -№2. –S.1-6.

8. Babych E.M., Krus Yu.A., Panchuk Yu.N. Vlyiane malotsyklovykh statycheskykh nahruzheniy na prochnost tiazheloho betona // Sovershenstvovanye stroytelnykh materyalov, tekhnolohiy y metodov rascheta konstruktsiyi v novyykh ekonomycheskykh usloviyakh: tez. dokl. mezhdunarod. nauchn.-praktych. Konf. –Сумы, 1994. –S.168-171.

9. HOST 23207-78. Soprotyvlenye ustalosty. Osnovnyye termyny, opredeleniya y oboznacheniya. –М.: Yzdatelstvo standartov, 1978. -48 s.

10. Holub A.V. Osobennosty prochnostnykh y deformatyvnykh svoistv betona so shlakom TЭС y ykh uchet pry raschete zhelezobetonnykh konstruktsiyi: Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk. –Mynsk, 1990. – 22 s.