

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ЗАПОВНЮВАЧІВ ТА ВОДОЦЕМЕНТОГО ВІДНОШЕННЯ НА ВІДНОСНУ ДЕФОРМАЦІЮ ВАЖКОГО БЕТОНУ

EVALUATION OF THE QUALITY OF AGGREGATES AND WATER-CEMENT RATIO INFLUENCE ON THE RELATIVE DEFORMATION OF HEAVY CONCRETE

Шалай С.В., к.с-г.н., доцент, викладач будівельних дисциплін ORCID: 0000-0002-5196-1747, Сасовський Т.А., к.т.н., викладач будівельних дисциплін, ORCID: 0000-0002-7344-7968 (Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України», м. Рівне)

Shalay S., candidate of agricultural sciences, associate professor, lecturer of construction disciplines ORCID: 0000-0002-5196-1747, Sasovskiy T., candidate of technical sciences, lecturer of construction disciplines, ORCID: 0000-0002-7344-7968 (Separate structural unit "Rivne Professional College of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine", Rivne)

В статті розглянуто принцип оцінювання залежності відносних деформацій важкого бетону за різних водоцементних відношень і якості заповнювачів, що надасть змогу краще оцінити несучу здатність бетонних та залізобетонних конструкцій.

The article considers the principle of evaluating the dependence of relative deformations of heavy concrete at different water-cement ratios and aggregate quality, which will allow for a better assessment of the bearing capacity of concrete and reinforced concrete structures. It has been established that with an increase in the water-cement ratio, a clear increase in the relative deformation characteristics of concrete is observed. The use of high-quality fillers increases the relative deformation index compared to medium and low-quality fillers.

Ключові слова:

Заповнювачі бетону, якість заповнювачів, водоцементне відношення, важкий бетон, модуль пружності, відносна деформація.

Concrete aggregates, aggregate quality, water-cement ratio, heavy concrete, modulus of elasticity, relative deformation.

Вступ. Аналіз досліджень. Бетон – один з основних видів будівельних матеріалів. У загальній вартості матеріальних ресурсів, що використовуються у капітальному будівництві, вартість збірних та монолітних бетонних виробів і конструкцій становить майже 25%. Одночасно бетон є економічним матеріалом, оскільки вироби з нього більш як на 80% об'єму складаються з місцевої сировини: піску, щебеню, гравію чи побічних продуктів промисловості у вигляді шлаків, золи тощо.

В останні десятиріччя сфера і обсяги застосування бетонів різних видів розширюються у зв'язку з тим, що поряд із збірним будівництвом, все більшу увагу привертає зведення будівель і споруд із монолітного бетону і залізобетону.

Серед усіх матеріалів, які застосовують у будівництві, тільки бетон має унікальну властивість – його міцність та інші фізико-механічні властивості впродовж багатьох десятиріч, тобто, по-суті, за весь час експлуатації у будівлях і конструкціях, не знижується, як це характерно для переважної більшості будівельних матеріалів, а навпаки – підвищуються, його структура постійно удосконалюється.

В основу переважної більшості сучасних нормативних документів із проектування бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій [1-3] закладені деформаційні моделі їх перерізу, що ґрунтуються на використанні у розрахунках зазначених елементів діаграм деформування стиснутого бетону. За ними вичерпання несучої здатності залізобетонних елементів і конструкцій обмежується декількома критеріями:

- втратою рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями (за екстремальним критерієм міцності;
- руйнуванням стиснутого бетону за граничних деформацій крайніх фібр стиснутого бетону;
- розривом усіх розтягнутих стержнів унаслідок досягнення в них граничних деформацій.

Детальний аналіз напружено-деформованого стану бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій дає змогу говорити про те, що за більш коректного формулювання першого з указаних критеріїв потреба у застосуванні двох інших загалом відпадає [3,4].

Відомо, що будь-які процеси, явища або події відбуваються за загальними законами, в основі яких полягають певні причинно-наслідкові зв'язки. Процес деформування бетонних чи залізобетонних елементів та конструкцій зазвичай відображається діаграмами їх стану.

При цьому точність відображення чи відтворення реального напружено-деформованого стану бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій рекомендується пов'язувати не з деформаційною чи силовою моделлю їхнього перерізу, а з

узагальненою моделлю їх деформування, яка за своєю сутністю завжди є деформаційно-силовою [5-7].

Не в останню чергу поведінку деформаційно-силової моделі обумовлює і фактор якості і міцності бетону, що характеризується його відповідною маркою, і залежить від застосування заповнювачів відповідної якості у поєднанні із різним водоцементним співвідношенням.

На підставі цього, в подальшому можна здійснювати прогноз максимально можливих деформацій стиснутого бетону в залізобетонних елементах і конструкціях на момент порушення їх граничної рівноваги.

Отже, в статті здійснено спробу удосконалення наявних підходів з вивчення напружено-деформованого стану і характеристики відносної деформації на прикладі важкого бетону залежно від складу бетону, активності цементу, якості бетонного наповнювача і кількості води.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження ґрунтуються на застосуванні графо-аналітичного методу при обробці довідкових та нормативних значень деформацій бетону.

Відомо, що стан бетону може описуватися дво- і трилінійною діаграмами стану. Для умов останньої, стискаюче напруження бетону σ_b залежно від відповідних деформацій укорочення бетону ε_b може бути встановлене за виразами

$$\text{при } 0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}$$

$$\sigma_b = E_b \cdot \varepsilon_b \quad (1)$$

$$\text{при } \varepsilon_{b1} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b0}$$

$$\sigma_b = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \cdot \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] \quad (2)$$

$$\text{при } \varepsilon_{b0} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$$

$$\sigma_b = R_b \quad (3)$$

Значення напруження σ_{b1} у наведених виразах приймають рівними:

$$\sigma_{b1} = 0,6R_b \quad (4)$$

Значення відносних деформацій ε_{b1} визначаємо як

$$\varepsilon_{b1} = \frac{\sigma_{b1}}{E_b} \quad (5)$$

де E_{b1} - значення початкового модуля пружності бетону за умов стиску і розтягу.

Значення відносних деформацій ε_{b2} приймемо з наступних умов:

- за нетривалої дії навантаження $\varepsilon_{b2}=0.0035$;
- за тривалої дії навантаження (за даними нормативних документів).

У виразі (5) значення початкового модуля пружності бетону може прийматися з довідкових таблиць нормативних документів залежно від класу бетону.

Результати досліджень. Початковий модуль пружності є однією з деформаційних характеристик бетону і зростає зі збільшенням класу бетону.

Як видно з виразів (1-5), напруження залежать від відносних деформацій укорочення бетону ε_b а також від міцності бетону при осьовому стисненні.

З урахуванням виразу (6), представимо розрахункову залежність (5) у наступному вигляді:

$$R_b = f(A, R_{ц, \frac{H}{B}}) \quad (6)$$

$$\varepsilon_{b1} = \frac{0,6R_b}{E_b} = \frac{0,6f(A, R_{ц, \frac{H}{B}})}{E_b} \quad (7)$$

Визначимо залежність відносної деформації ε_{b1} від вказаних вище параметрів $A, R_{ц, \frac{H}{B}}$. Для цього виберемо з табл. 5.4 СП 51-101-2003 $E_b = 24,0 \cdot 10^{-3}$ МПа для бетону В15.

За виразом (7) визначаємо, як якість заповнювача впливає на відносні деформації бетону. У таблицях 1-3 наведена зміна відносної деформації бетону залежн від якості заповнювача. Розрахунок здійснювався за значеннями міцності на стиск, визначеної за виразами (8), (9)/(10).

Для зразка № 1 з високоякісним наповнювачем та міцністю на стиск $R_b = 36,4$ МПа, отримуємо:

$$\varepsilon_{b1} = \frac{0,6364}{24 \times 10^{-3}} = 0,9110^{-3}$$

За результатами виконаних розрахунків побудовані графіки залежності.

$$R_b = 0,49AR_{ц} \left(\frac{3,1 \frac{H}{B}}{3,1 + \frac{H}{B}} \right)^2 \quad (8)$$

Формула з нормативної документації:

$$R_b = AR_{ц} \left(\frac{H}{B} - 0,5 \right) \text{ при } \frac{H}{B} \leq 2,5 \quad (9)$$

$$R_b = A_1 R_{ц} \left(\frac{H}{B} - 0,5 \right) \text{ при } \frac{H}{B} > 2,5 \quad (10)$$

Таблиця 1.

Результати розрахунку відносної деформації $\varepsilon_{b1} \cdot 10^{-3}$ від R_b

Формула	Номери бетонних зразків				
	1	2	3	4	5
Співвідношення Ц/В	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
при використанні високоякісних наповнювачів					
Формула Симонова М. С. (8)	0,91	1,63	2,35	3,05	3,70
Формула НТД (9) або (10)	1,63	3,25	4,88	6,50	7,53
при використанні наповнювачів середньої якості					
Формула Симонова М. С. (8)	0,84	1,50	2,17	2,82	3,42
Формула НТД (9) або (10)	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50
при використанні наповнювачів низької якості					
Формула Симонова М. С. (8)	0,77	1,38	1,99	2,58	3,13
Формула НТД (9) або (10)	1,38	2,75	4,13	5,50	6,88

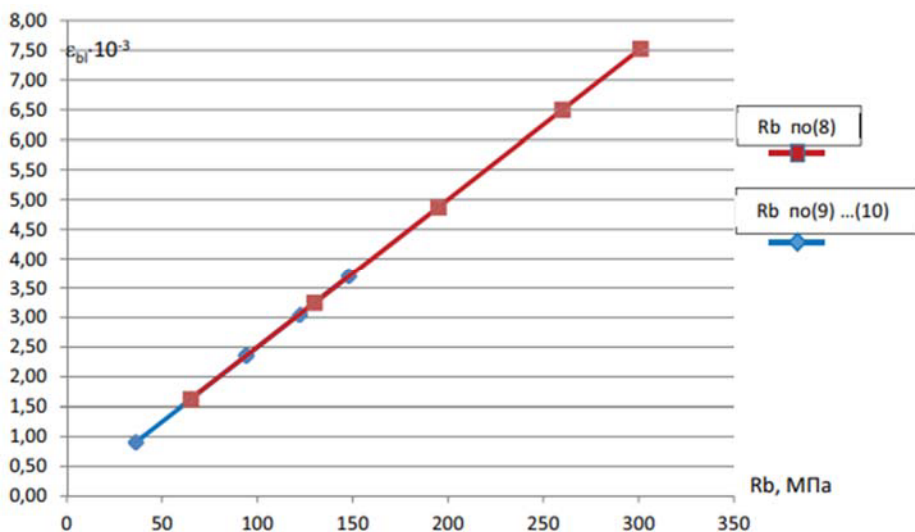


Рис. 1. Залежність відносної деформації $\varepsilon_{b1} \cdot 10^{-3}$ від R_b за умови використання високоякісних заповнювачів

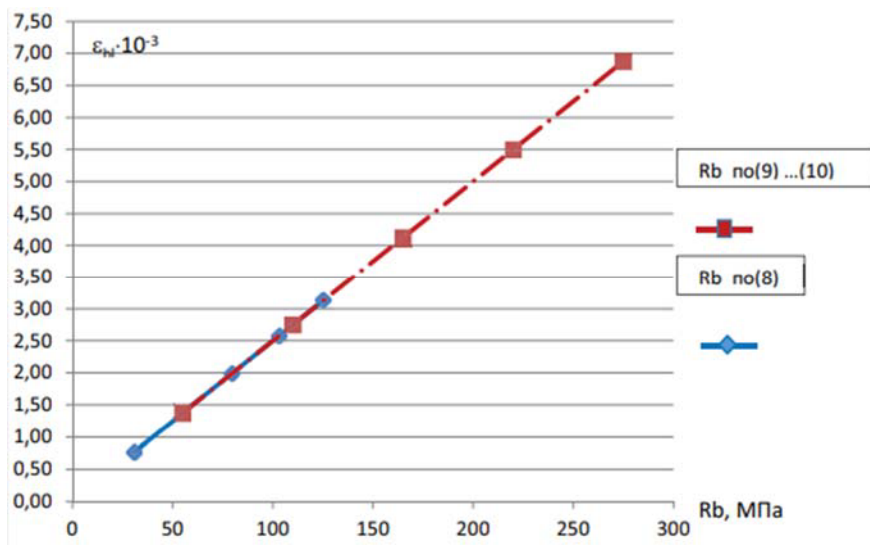


Рис. 2. Залежність відносної деформації $\varepsilon_{b1} \cdot 10^{-3}$ від R_b за умов використання заповнювачів низької якості

Як засвідчують наведені графіки, при зростанні співвідношення Ц/В збільшується і відносна деформація бетону, яка є однією з основних деформаційних характеристик. Крім того, при зниженні якості бетонного наповнювача спостерігається зниження значень відносної деформації.

Розглянемо для зразка №1 зміну відносної деформації $\varepsilon_{b1} \cdot 10^{-3}$ при зміні активності цементу (табл.2, рис.3).

За результатами розрахунків приходимо до висновку, що збільшення активності цементу призводить до збільшення відносної деформації $\varepsilon_{b1} \cdot 10^{-3}$.

Таблиця 2

Зміна відносної деформації $\varepsilon_{b1} \cdot 10^{-3}$ при зміні активності

Формула	Цементна активність		
	300	400	500
Формула Симонова М. С. (8)	54,6	72,8	91,0
Формула ЗНТД (9) або (10)	97,5	130,0	162,5

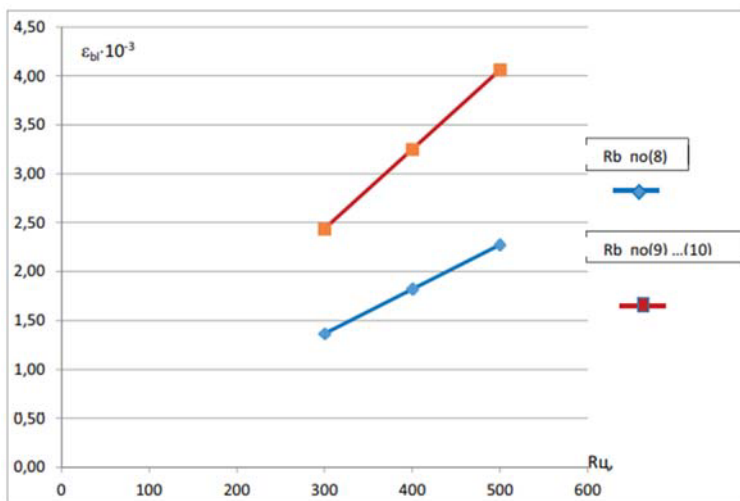


Рис. 3. Графік залежності відносної деформації $\varepsilon_{b1} \cdot 10^{-3}$ за умови зміни активності бетону $R_{ц}$

Висновки

1. Розрахункові вирази 8-10 дають змогу виявити залежність деформаційних характеристик бетону, зокрема відносної деформації $\varepsilon_{b1} \cdot 10^{-3}$ від складу бетону, активності цементу, якості бетонного наповнювача і кількості води і можуть бути використані в експрес-методах оцінки якості бетону.

2. Встановлено, що при зростанні водоцементного відношення простежується чітке зростання відносна деформаційних ознак бетону.

3. Встановлено, що застосування високоякісних наповнювачів підвищує показник відносно деформації у порівнянні із середньо- та низькоякісними наповнювачами.

1. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія / Л. Й. Дворкін та ін. Рівне: НУВГП, 2017. 33 с

2. Дворкін Л. Й., Бордюженко О. М., Ковальчук Т. В. Фібробетон з композиційним дисперсним армуванням. Будівельні матеріали та вироби. 2019. № 1–2 (100). С. 26–29.

3. Шишкіна О. Бетони високої міцності для композитних матеріалів. Вісник Криворізького національного університету. 2022. № 54. С. 42–46.

4. Naaman A. E. Engineered steel fibres with optimal properties for reinforcement composites. Journal of advanced concrete technology. 2003. No 1. P. 241–252.

5. Peled A. Pre-tensioning of fabrics in cement-based composites. Cement and Concrete Research. 2007. No 37. P. 805–813.

6. Shyshkina A. Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020.

7. Shyshkina A., Shyshkin A., Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water. Norwegian Journal of development of the International Science. 2020. Vol. 1. No 51. P. 49– 53.

8. [ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови.](#)

9. ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013 Настанова щодо визначення складу важкого бетону.

10. ДСТУ Б В.2.7-221:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Класифікація і загальні технічні вимоги.

11. ДСТУ Б В.2.7-214-2009 Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

12. ДСТУ Б В.2.7-224-2009 Бетони. Правила контролю міцності.