

Семко О.В., д.т.н., професор, ORCID ID: 0000-0002-2455-752X

e-mail: al.vl.semko@gmail.com

Гукасян О.М., старший викладач, ORCID ID: 0000-0002-8426-2678

e-mail: olg.gukasyan@gmail.com

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## ВРАХУВАННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ МІЦНОСТІ БЕТОНУ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

*Анотація.* Обґрунтовано необхідність застосування додаткового часткового коефіцієнту надійності умов роботи за матеріалом – технологічного коефіцієнту, що враховує додаткову (первинну та вторинну) неоднорідність бетону довгих трубобетонних елементів при наявності ускладнених умов бетонування (вертикальна подача бетонної суміші на будівельному майданчику при діаметрах зовнішньої труби-оболонки  $\leq 300$  мм) залежно від технологічних параметрів бетонної суміші та режимів її ущільнення. За результатами власних експериментів для корегування середньої міцності партії бетону для виготовлення трубобетонних стійок рекомендовані нормовані значення мінливості (коефіцієнту варіації) міцності бетону у виробі. Запропонована методика визначення середньої міцності бетону під час підбору складу бетону на заводі ЗБВ при переході від його проектного класу до середньої міцності – марки, що дає змогу врахувати статистично значущу різницю між середньою міцністю бетону контрольних зразків та середньою міцністю бетону виробу із умови забезпечення міцності його найменш слабкої зони не менше, ніж 95% проектної.

*Ключові слова:* бетон, технологічні параметри, мінливість, неоднорідність, контроль міцності, коефіцієнт надійності.

Semko O. V., Dr. Sc. (Tech.), Prof., ORCID ID: 0000-0002-2455-752X

e-mail: al.vl.semko@gmail.com

Gukasian O.M., Senior Lecturer, ORCID ID: 0000-0002-8426-2678

e-mail: olg.gukasyan@gmail.com

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

## CONSIDERING THE INHOMOGENEITY OF THE CONCRETE STRENGTH OF STRUCTURAL ELEMENTS

*Annotation.* We justified the necessity of applying the additional partial reliability coefficient of the material (technological coefficient), that would account for the additional (primary and secondary) inhomogeneity of concrete in long CFST elements under the complicated concreting conditions (vertical concrete mixture supplying at the construction site when the diameter of external shell-tube is less than 300 mm) depending on the technological parameters of concrete mixture and regimes of its compaction. Based on the conducted experiments we suggest standardized variability values (variation coefficient) of the unit's concrete strength for adjustment the average concrete strength value of the batch for manufacturing the CFST racks. We've suggested the method of determining the average concrete strength during concrete composition designing at a ferroconcrete plant during the transition from its design class to its average strength (mark). It allows consideration the statistically significant difference between the average concrete strength of control specimens

and the average concrete strength of the unit, given that the strength of it's the weakest zone is guaranteed not less than 95 % of designed value.

**Keywords:** concrete, technological parameters, variability, strength control, reliability coefficient.

На основі результатів експериментальних досліджень розробити рекомендації щодо врахування можливої неоднорідності міцності бетону, зумовленої ускладненими умовами бетонування трубобетонних елементів. Розроблена спеціальна методика експериментальних досліджень міцності бетону, що передбачала випробування (руйнівним та неруйнівними методами) бетонних зразків-циліндрів, що бетонувалися у складі конструктивних елементів – стійок різної висоти, у незнімній опалубці – полівінілхлориді трубі-оболонці з внутрішнім діаметром 100 мм. Під час планування експерименту за варійовані параметри приймалися параметри технологічних факторів бетонування (висота досліджуваного зразка, марка бетонної суміші за легкоукладальністю та час ущільнення), що варіювались на трьох рівнях. Дослідження проводилися за планом експерименту типу Бокса-Бенкена (Box and Behnken) типу «3/1/15». Перед випробуванням всі довгі зразки було розрізано на рівні по висоті частини. Таким чином було отримано 90 зразків із співвідношенням  $h/d = 2$ . Всі зразки виготовлені з важкого бетону одного класу за міцністю С 20/25 [1].

Виконано кореляційний аналіз впливу технологічних факторів бетонування на міцність бетону конструктивних елементів, що мають ускладнені умови бетонування на прикладі трубобетону. За результатами проведених випробувань обчислено розкид міцності бетону різних за висотою зон довгих зразків: в середньому близько  $\delta = 43\%$  ( $\delta = 100 \times (f_{c,max} - f_{c,min}) / f_{c,max}$ ), при коефіцієнті варіації до 23%. Ця тенденція виявилась більш характерною при застосуванні жорсткої бетонної суміші V4 (розкид одиничних значень міцності по висоті в середньому досягає майже 50% при середньому значенні коефіцієнту варіації 33%). Для рухливих сумішей характерна дещо більша однорідність: близько 41% – для суміші S1 (при середньому значенні коефіцієнту варіації 20%) та до 38% – для суміші S2 (при середньому значенні коефіцієнту варіації 13,3%).

Однорідність дисперсії міцності бетону по ділянкам доцільно оцінювати за  $F$ -критерієм (критерієм Фішера):

$$F = D(f_c)_i / D(f_c)_{i+1}, \quad (1)$$

де  $D(f_c)_i$  – дисперсія міцності бетону  $i$ -ого фрагменту виробу.

Дисперсії по фрагментах елементу можна вважати однорідними, якщо фактичне (обчислене) значення  $F$ -критерію є меншим за теоретичне  $F_t$ . Тоді можна виконувати порівняння середніх міцностей по ділянкам виробу, для чого необхідно підрахувати значення  $t$ -критерію:

$$t = \left| f_{cm,i} - f_{cm,i+1} \right| \cdot \sqrt{n} / \sqrt{D(f_c)_i + D(f_c)_{i+1}}, \quad (2)$$

де  $f_{cm,i}$  – середня міцність бетону  $i$ -ої ділянки виробу.

В іншому випадку, коли  $F > F_t$  для знаходження значення  $t$ -критерію можна скористатися відомими табличними значеннями, використовуючи параметр  $n_{ум}$ :

$$n_{ум} = \frac{2(n-1)(D(f_c)_i + D(f_c)_{i+1})}{\sqrt{D(f_c)_i^2 + D(f_c)_{i+1}^2}}, \quad (3)$$

де  $n$  – це кількість умовних ділянок (фрагментів) виробу.

Якщо обчислене значення  $t$ -критерію більше за теоретичне, то різниця міцності бетону за зонами є статистично значущою, що необхідно враховувати під час підбору

складу бетону на заводі ЗБВ при переході від його проектного класу до середньої міцності – марки.

Характеристичне значення міцності бетону у виробі із забезпеченістю 95% можна підрахувати, використовуючи залежність:

$$f_{ck} = f_{cm,min} \cdot (1 - 1,64V_{c,t}), \quad (4)$$

де  $V_{c,t}$  – коефіцієнт варіації міцності бетону у виробі;

$f_{cm,min}$  – середня міцність бетону найбільш «слабкої» ділянки виробу.

Середня міцність бетону найбільш слабкої ділянки бетону визначається за формулою:

$$f_{cm,min} = \gamma_{c,t} f_{cm}, \quad (5)$$

де  $f_{cm}$  – фактичне значення середньої міцності бетону контрольних зразків бетону;

$\gamma_{c,t}$  – частковий коефіцієнт надійності коефіцієнт умов роботи за матеріалом, що характеризує технологічну неоднорідність бетону у виробі.

Частковий коефіцієнт надійності за матеріалом за своїм змістом є коефіцієнтом переходу від середньої міцності бетону контрольних зразків до середньої міцності найбільш «слабкої» ділянки виробу:

$$\gamma_{c,t} = (f_{cm,min} + f_{cm}^f) / 2f_{cm,min} \quad (6)$$

де  $f_{cm}^f$  – середня міцність найбільш «слабкої» ділянки виробу.

Тоді необхідну марку бетону за міцністю можна підрахувати за формулою:

$$f_{cm}^{kalk} = \frac{f_{ck,d}}{\gamma_{c,t}(1 - 1,64 \cdot V_{c,t})}, \quad (7)$$

де  $f_{ck,d}$  – характеристичне значення міцності бетону, що відповідає його проектному класу (С).

Таким чином, для корегування середньої міцності партії бетону для виготовлення трубобетонних стійок (осадка конуса 0...5 см) рекомендовано враховувати коефіцієнт варіації міцності бетону у виробі від 16 до 25% (залежно від рухливості бетонної суміші та способу її ущільнення). При використанні рухливих бетонних сумішей з осадкою конуса 5...9 см для забезпечення проектного рівня надійності таких конструктивних елементів рекомендується використовувати нормоване значення мінливості міцності бетону – 13,5%.

### Література

1. Voskobiinyk O. / *Research of technological features of tube confined concrete members concreting* / O. Voskobiinyk, O. Gukasian // *MATEC Web of Conferences, 6th International Scientific Conference «Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings» (Transbud-2017)*. – Kharkiv, Ukraine, April 19 – 21. – 2017. Published online: 10 July 2017. Режим доступу: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711602037> (Scopus 2017).