

УДК 693.54:624.016

ДО ПИТАННЯ ВРАХУВАННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ МІЦНОСТІ БЕТОНУ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО МАЮТЬ УСКЛАДНЕНІ УМОВИ БЕТОНУВАННЯ

СЕМКО О. В.^{1*}, *д.т.н, проф.*,
ВОСКОБІЙНИК О.П.^{2*}, *д.т.н, с.н.с.*,
ГУКАСЯН О. М.^{3*}, *старший викладач.*

^{1*} Кафедра архітектури та міського будівництва, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава, Україна, тел.: +38 (050) 305-09-70, e-mail: al.vl.semko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2455-752X>

^{2*} Кафедра організації і технології будівництва та охорони праці, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава, Україна, тел.: +38 (050) 304-40-23, e-mail: elenvosko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8547-762X>

^{3*} Кафедра технології будівельних конструкцій, виробів та матеріалів, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, Полтава, Україна, тел. +38 (095) 569-78-44, e-mail: olg.dmytrenko@gmail.com.

Анотація. Мета. На основі результатів експериментальних досліджень розробити рекомендації щодо врахування можливої неоднорідності міцності бетону, зумовленої ускладненими умовами бетонування трубобетонних елементів. **Методика.** 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 нізній 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. **Результати.** Виконано кореляційний аналіз впливу технологічних факторів бетонування на міцність бетону конструктивних елементів, що мають ускладнені умови бетонування на прикладі трубобетону. Виявлено суттєве коливання (розкид) міцності бетону різних за висотою зон довгих зразків: в середньому близько 43% при коефіцієнті варіації до 23%. Експериментально доведено, що при застосуванні рухливих сумішей з осадою конуса 4 – 9 см не залежно від часу їх ущільнення загальний коефіцієнт варіації міцності бетону по висоті в трубобетонних елементах становить близько 13%. **Наукова новизна.** Обґрунтовано необхідність застосування додаткового часткового коефіцієнту надійності за матеріалом – технологічного коефіцієнту (γ_{ct}), 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 ≤ 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. **Практична значимість.** 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% від проектної.

Ключові слова: ускладнені умови бетонування, бетон, технологічні параметри, бетонна суміш, умови твердіння, мінливість, неоднорідність, контроль міцності, коефіцієнт надійності.

К ВОПРОСУ УЧЕТА НЕОДНОРОДНОСТИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИМЕЮЩИХ ОСЛОЖНЕНИЕ УСЛОВИЙ БЕТОНИРОВАНИЯ

СЕМКО А. В.^{1*}, *д. т. н., проф.*,
ВОСКОБОЙНИК Е.П.^{2*}, *д. т. н., с. н. с.*,
ГУКАСЯН О. М.^{3*}, *старший преподаватель.*

^{1*}Кафедра архитектуры и городского строительства, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, м. Полтава, Украина, тел.: +38 (050) 305-09-70, e-mail: al.vl.semko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2455-752X>

^{2*} Кафедра организации и технологии строительства и охраны труда, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, м. Полтава, Украина, тел.: +38 (050) 304-40-23, e-mail: elenvosko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8547-762X>

^{3*} Кафедра технологии изготовления строительных конструкций, изделий и материалов, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, Полтава, Украина, тел. +38 (095) 569-78-44, e-mail: olg.dmytrenko@gmail.com.

Аннотация.Цель. На основе результатов экспериментальных исследований разработать рекомендации по учету возможной неоднородности прочности бетона, обусловленной сложными условиями бетонирования трубобетонных элементов. **Методика.** Разработана специальная методика экспериментальных исследований прочности бетона, она предусматривала испытания (разрушительными и неразрушающими методами) бетонных образцов-цилиндров, забетонированных в составе конструктивных элементов – стоек различной высоты, в качестве опалубки использовали поливинилхлоридные трубы-оболочки с внутренним диаметром 100 мм. При планировании эксперимента с варьируемыми параметрами принимались параметры технологических факторов бетонирования (высота исследуемого образца, марка бетонной смеси по подвижности и время уплотнения), что варьировались на трех уровнях. Исследования проводились по плану эксперимента типа Бокса-Бенкен (Box and Behnken) типа «3/1/15». Перед испытанием все длинные образцы были разрезаны на равные по высоте части. Таким образом было получено 90 образцов с соотношением $h/d = 2$. Все образцы изготовлены из тяжелого бетона одного класса по прочности С 20/25. **Результаты.** Выполнен корреляционный анализ влияния технологических факторов бетонирования на прочность бетона конструктивных элементов, имеющих сложные условия бетонирования на примере трубобетонных элементов. Выявлено существенное колебание (разброс) прочности бетона различных по высоте зон длинных образцов: в среднем около 43% при коэффициенте вариации до 23%. Экспериментально доказано, что при применении подвижных смесей с осадкой конуса 4...9 см независимо от времени их уплотнения общий коэффициент вариации прочности бетона по высоте в трубобетонных элементах составляет около 13%. **Научная новизна.** Обоснована необходимость применения дополнительного частичного коэффициента надежности по материалу – технологического коэффициента (γ_{ct}), учитывающий дополнительную (первичную и вторичную) неоднородность бетона длинных трубобетонных элементов при наличии сложных условий бетонирования (вертикальная подача бетонной смеси на строительной площадке при диаметрах внешней трубы-оболочки ≤ 300 мм) в зависимости от технологических параметров бетонной смеси и режимов ее уплотнения. По результатам собственных экспериментов для корректировки средней прочности партии бетона для изготовления трубобетонных стоек могут рекомендованы нормированные значения изменчивости (коэффициента вариации) прочности бетона в изделии. **Практическая значимость.** Предложенная методика определения средней прочности бетона при подборе состава бетона на заводе ЖБИ при переходе от его проектного класса до средней прочности – марки, что позволяет учесть статистически значимую разницу между средней прочностью бетона контрольных образцов и средней прочностью бетона изделия из условия обеспечения прочности его наименее слабой зоны не менее 95% от проектной.

Ключевые слова: сложные условия бетонирования, бетон, технологические параметры, бетонная смесь, условия твердения, изменчивость, неоднородность, контроль прочности, коэффициент надежности.

THE ISSUE OF CONSIDERING THE INHOMOGENEITY OF THE CONCRETE STRENGTH OF STRUCTURAL ELEMENTS IN COMPLICATED CONCRETING CONDITIONS

SEMKO O. V.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
VOSKOBIINYK O. P.^{2*}, *Dr. Sc. (Tech.), Senior Scientist*,
GUKASIAN O.M.^{3*}, *Senior Lecturer*.

^{1*} Department of architecture and urban construction, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravneviy avenue, 24, 36011, Poltava, Ukraine, phone +38 (050) 305-09-70, e-mail: al.vl.semko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2455-752X>

^{2*} Department of organization and technology of building and health safety, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravneviy avenue, 24, 36011, Poltava, Ukraine, phone +38 (050) 304-40-23, e-mail: elenvosko@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8547-762X>

^{3*} Department of technology of building design, products and materials, Poltava national technical Yuri Kondratyuk university, Pershotravneviy avenue, 24, 36011, Poltava, Ukraine, phone +38 (095) 569-78-44, e-mail: olg.dmytrenko@gmail.com.

Abstract. *The aim* is to develop the recommendations of accounting for a possible heterogeneity of the concrete strength due to the complicated conditions of concreting the CFST elements, based on the results of experimental studies. Method. A special technique of experimental studies of concrete strength is developed, it included testing (destructive and nondestructive methods) of concrete cylindrical samples which had been concreted in the composition of structural elements (racks) of different heights, and in the permanent formwork (polyvinyl chloride tube-shell with an internal diameter of 100 mm). During experiment

planning, technological concreting parameters (specimen's height, placeability of concrete mixture and compaction time) were considered as varying parameters in three levels. The research carried out according to Box and Behnken experiment plan of "3/1/15" type. Prior to testing all the long specimens were cut in the pieces of equal height. In this manner, we obtained 90 specimens with h/d ratio of 2. All the specimens manufactured of heavy concrete of the same strength class C 20/25 ($f_{cm,cul}=24.18$ MPa). **Results.** We carried out a correlation analyses of the concreting technological parameters influence on the concrete strength of structural elements under complicated concreting conditions by the example of CFST elements. We have discovered a significant data spread on concrete strength along the height of different zones of long specimens. Its average value was about 43% with a variation coefficient of 23 %. We empirically proved that when movable mixtures with the cone slump of 4 – 9 cm used, an overall variation coefficient of concrete strength along the height of CFST elements equals 13% irrespective of its compaction time. **Scientific novelty.** 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. **Practical significance.** 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.

Key words: complicated concreting conditions, concrete, technological parameters, concrete mixture, hardening conditions, variability, strength control, reliability coefficient.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Якість бетону в труобетонних елементах залежить від технології їх виготовлення та методики проектування [15], адже внаслідок наявності ускладнених умов бетонування – укладання бетонної суміші у замкнений простір труби-оболонки, виникають ризики утворення дефектів бетонного осердя (розшарування, порожнини, пори, тріщини, мінливість міцності по висоті зразка та інше). Також наявність зовнішнього армування (труби-оболонки, що одночасно виконує функції незнімної опалубки) ускладнює процес контролю міцності бетону. Виявлення та врахування закономірностей утворення неоднорідної міцності бетону по висоті потребує особливої уваги при ймовірнісному аналізі роботи та оцінюванні показників надійності елементів в цілому [7]. Тому питання дослідження причин утворення дефектів бетону та його можливої неоднорідності по зонам конструктивного елемента, що своєю чергою вимагає розроблення раціональної технології бетонування, є на сьогодні одним із пріоритетних напрямів дослідження труобетонних елементів.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій

Відомо, що коефіцієнт варіації міцності бетону (поряд із середньою міцністю в партії) є одним із основних показників контролю якості при виготовленні бетонних сумішей та характеризує її однорідність [1, 4, 6, 8]. Як правило, середні значення цього показника для важкого і легкого видів бетону становлять 6 – 10%, при незадовільному рівні технології виготовлення 20 – 25 % [4]. При цьому згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками» мінливість (коефіцієнт варіації) міцності бетону в межах 13,5 % характеризує задовільну якість виготовлення бетону.

Також існує низка нормативних документів, що регламентують умови зберігання, методику відбору проб бетону, розміри контрольних зразків (ДСТУ Б В.2.7-114:2009, ДСТУ Б В.2.7-214:2009) та методику визначення міцності бетону (ДСТУ Б В.2.7-220:2009 ДСТУ Б В.2.7-226:2009).

Нормативна методика випробування бетону на міцність відповідно до ДСТУ Б В.2.7-176 «Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови» рекомендує проводити випробування з пріоритетним використанням європейських норм (EN 206-1:2000, NEQ), що на сьогодні не повністю адаптовані для використання в Україні [12].

Огляд сучасних закордонних джерел [17 – 19] також свідчить про важливість питання нормування міцності бетону конструктивних елементів. Зокрема, дослідження фізико-механічних характеристик різних бетонів [17], свідчать, що з плином часу фактичні відхилення міцності легких бетонів є дещо вищими, ніж для важких та високоміцних бетонів. Більш того, авторами було відзначено, що коефіцієнт варіації міцності бетону зменшується із зростанням середньої міцності. Аналогічні результати були отримані автором [18, 19], за даними яких побудована залежність мінливості міцності бетону від його марки (рис. 1).

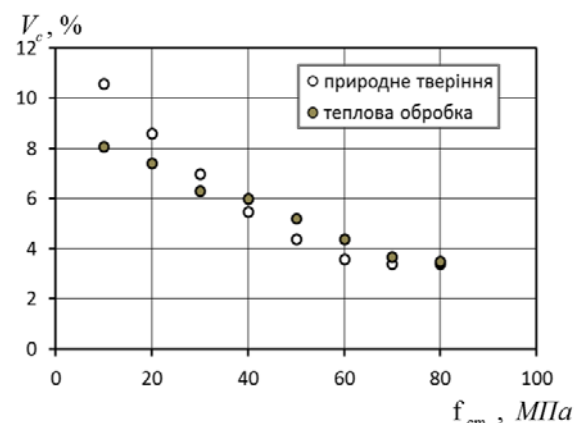


Рис. 1. Залежність мінливості міцності бетону від його марки за даними [14]/

Dependence of the variability of concrete strength on its mark according to the data [14]

На відміну від вітчизняних норм в Європейському нормативному документі EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures. EN 1992-1-1:2004 Part 1-1: General rules and rules for building (EC2)[16] не наведено значення нормативної мінливості міцності бетону при осьовому стиску, а надані лише її середні та характеристичні значення, скориставшись якими можна підрахувати відповідний коефіцієнт варіації (рис. 2), величина якого змінюється в межах від 24 до 9%, зменшуючись зі зростанням класу бетону

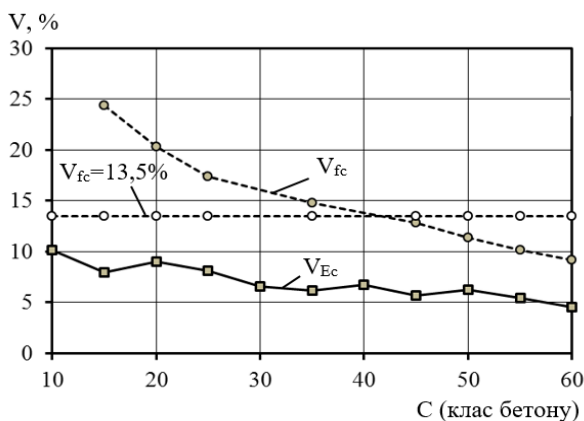


Рис. 2. Залежність нормативної мінливості початкового модуля пружності та міцності бетону залежно від класу бетону за міцністю, отриманий за даними EN 1992 Eurocode2/

Dependence of the normative variability of the initial modulus of elasticity and strength of concrete depending on the concrete class strength, obtained according to EN 1992 Eurocode 2

Слід зазначити, що сучасні нормовані класи бетону розташовано з досить невеликим інтервалом порівняно навіть з нормативною мінливістю міцності ($V_c = 13,5\%$). Якщо нанести на один рисунок нормативні розподіли суміжних складів бетону (від C8/10 до C30/35, рис. 3), то очевидним стає висновок про можливість приналежності матеріалу за результатами одиничних (або малосерійних) випробувань до 3 – 4 суміжних класів. Безумовно, довірча ймовірність приналежності зразка до кожного з нормативних класів буде відрізнатись, але ця різниця для сумісних класів буде незначною. Видиме «розширення» функцій розподілів міцності різних класів бетону пояснюється збільшенням абсолютного значення середньоквадратичного відхилення при постійному коефіцієнті варіації ($V_c = 0,135$). Використання неруйнівних методів контролю міцності бетону, як правило, веде до збільшення фактичного коефіцієнта варіації міцності бетону, і як наслідок – ще більшого «накладання» розподілів

(рис. 4). Так, отримані середні значення міцності бетону (за допомогою будь-яких руйнівних та неруйнівних засобів контролю) можуть відповідати різним класам залежно від фактичних значень коефіцієнта варіації V_c : середня міцність бетону відповідає класу бетону C 20/25 при $V_c = 10\%$; C 16/20 – при $V_c = 20\%$ та C 12/15 при значній мінливості ($V_c = 30\%$). При цьому значення $V_c > 10\%$ характерні для методів неруйнівного контролю міцності бетону. Слід також відмітити, що результати обширних натурних досліджень авторів [8] показують, що збільшення кількості даних (кількості замірів при неруйнівному контролі міцності) не впливає на середню оцінку значення коефіцієнта варіації.

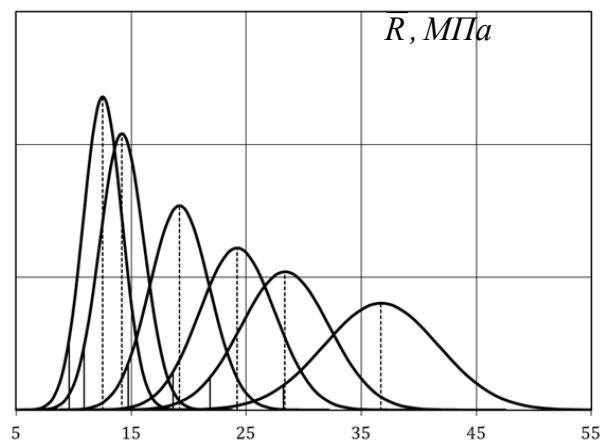


Рис. 3. Співставлення розподілів кубкової міцності бетону для класів C8/10 – C30/35 (при $V_c = 13,5\%$)/

Comparison of the distribution of concrete strength of concrete for classes C8/10 – C30/35 (at $V_c = 13,5\%$)

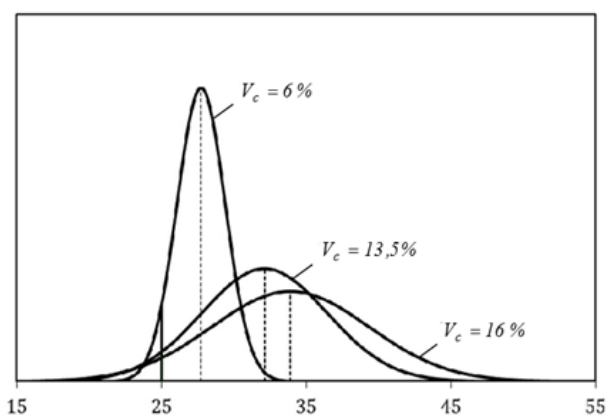


Рис. 4. Співставлення розподілів кубкової міцності бетону, що відповідає проектному класу C20/25 при різних значення коефіцієнту варіації/

Comparison of the distribution of the concrete strength, which corresponds to the design class C20 / 25 at different values of the coefficient of variation

Поміж тим дослідження властивостей бетону як у заводських виробках, так і в монолітних конструкціях,

а також лабораторні дослідження відмічають значну (до 40%) мінливість міцності бетону в межах одного виробу [8]. Ще більших значень досягає мінливість міцності бетону в монолітних конструкціях. У [9] наведений приклад зміни (у три рази – від 10 до 30 МПа) міцності бетону в межах одного конструктивного елемента – 3 метрового простінку житлового будинку, не дивлячись на те, що бетон поступав з одного розчинно-бетонного вузла протягом 2-х годин безперервного бетонування. А при обстеженні стовбура залізобетонної димової труби методами неруйнівного контролю, виконаного в [2], було встановлено, що загальний коефіцієнт варіацій міцності бетону складає 26%, що майже в 2 рази перевищує нормативне значення.

У зв'язку з цим в стандарті [2] передбачено відповідні правила встановлення різниці міцності окремих зон конструкції. Для визначення однорідності міцності бетону конструкцій у [2] застосовуються методи математичної статистики та дисперсійного аналізу, що полягають в оцінці однорідності дисперсій міцності по окремих зонах із використанням F -критерію (критерію Фішера). За результатами дисперсійного аналізу робиться висновок про необхідність контролю міцності бетону у виробі: окремо по зонах або без такого поділу. Встановлення вимог щодо середньої міцності всього виробу за результатами контролю однієї (найбільш «слабкої») зони здійснюється за допомогою відповідного статистично обґрунтованого перехідного коефіцієнта (згідно з додатком 2 [2]).

Розвитком наведених положень норм є дослідження, виконані в роботі Н.Г. Стулія [13], що направлені на отримання даних стосовно нерівномірності розподілу міцності та щільності (об'ємної ваги бетону) у лабораторних зразках з розмірами, наближеними до реальних залізобетонних конструкцій. Результати проведених випробувань, свідчать про нерівномірність розподілу міцності та щільності бетону в об'ємі дослідних зразків.

Мета

Отже, зважаючи на сучасну проблематику та результати огляду відомих досліджень та публікацій, метою даних досліджень є розроблення рекомендації щодо врахування можливої неоднорідності міцності бетону (її первинної та вторинної неоднорідності) окремих зон трубобетонних елементів, зумовленої ускладненими умовами бетонування.

Основний матеріал та результати

Відомо [5], що неоднорідність міцності бетону може бути викликана цілим рядом чинників випадкового та систематичного характеру, що в свою чергу зумовлюють виникнення дійсної (природної) – первинної, та вторинної (уявної) неоднорідності властивостей.

Переходячи від статистик міцності бетону контрольних зразків до реальних бетонних виробів,

слід наголосити, що зазвичай при їх виготовленні має місце розсіювання властивостей бетону в межах окремих конструктивних елементів. Ця особливість конструктивних елементів пов'язана з природною неоднорідністю його властивостей при розподіленні бетону в значних об'ємах, як це зазвичай буває в реальних конструкціях, особливо, масивних. Окрім того, досить важливим чинником при розгляді цього питання є вплив технологічних факторів виготовлення бетонних конструктивних елементів: якість заповнювача та цементу, склад бетонної суміші та дозування її компонентів, догляд за бетоном, нерівномірність розподілення компонентів бетонної суміші в об'ємі конструктивного елемента (особливо в умовах вертикального або касетного бетонування), а також умови перемішування, ущільнення та твердіння бетонної суміші.

При цьому слід наголосити, що для трубобетонних елементів суттєвим джерелом статистично значущої неоднорідності міцності бетону є ускладнені умови бетонування, такі як висота конструктивного елемента та його малий діаметр (до 300 мм).

Для розв'язання поставлених задач авторами було розроблено спеціальну методичку експериментальних досліджень міцності бетону, що передбачала випробування (руйнівним та неруйнівними методами) бетонних зразків-циліндрів, що бетонувалися у складі конструктивних елементів – стійок різної висоти, у нізній опалубці – полівінілхлориді труб-оболонці з внутрішнім діаметром 100 мм. Під час планування експерименту за варійовані параметри приймалися технологічні параметри бетонування: висота досліджуваного зразка (X_1), час ущільнення (X_2) та марка бетонної суміші за легкоукладальністю (X_3), що варіювались на трьох рівнях (табл. 1). 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-циліндрів із співвідношенням $h/d = 2$

(рис. 5). Всі зразки виготовлені з важкого бетону одного класу за міцністю С 20/25. Для підвищення рухливості бетонної суміші використовували добавку-суперпластифікатор на основі полікарбоксилату. Бетон ущільнювали різними способами: під власною вагою (без вібрування) та за допомогою вібрування. Внаслідок того, що діаметр труби замалий для використання традиційних методів ущільнення, було прийнято рішення ущільнювати бетон в труб-оболонці прикріплюючи глибинний вібратор до стінки труби.

Таблиця 1

Рівні варіювання параметрів/
The variable level of parameters

Варійовані параметри	Верхній «+1»	Середній «0»	Нижній «-1»
----------------------	--------------	--------------	-------------

Довжина (X ₁), мм	400	1200	2000
Час ущільнення (X ₂), хв.	0	2	4
Марка бетонної суміші за легкоукладальністю (X ₃)	V4	S1	S2

Більш детально дані щодо плану експерименту та характеристик дослідних зразків наведено в публікаціях авторів [3, 20]. Для кожного складу бетону (марки за легкоукладальністю) було підраховано середній внутрішньосерійний коефіцієнт варіації. Статистичні характеристики міцності бетону за партіями наведено в таблиці 2.

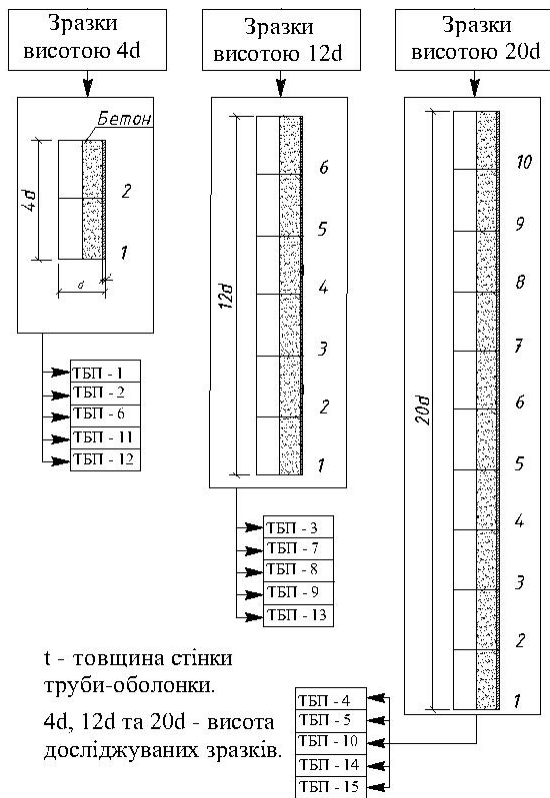


Рис. 5. Експериментальні зразки/
Experimentalspecimens

Таблиця 2

**Статистичні характеристики міцності бетону за партіями/
The statistical value of concrete strength at batches**

Марка бетонної суміші за легкоукладальністю	Час ущільнення	Статистичні характеристики			
		розмах варіювання, МПа	середнє значення, МПа	СКО, МПа	коєф. варіації V, %
V4	0	10,77	19,34	5,3	27,5
	2	1,76	23,86	1,25	5,2
	4	5,80	25,97	2,6	10,0
Середній внутрішньосерійний коєф. варіації, %					16,3
S1	0	0,57	26,45	0,40	1,5
	2	5,18	28,75	2,7	9,3
	4	14,09	31,71	3,75	11,8
Середній внутрішньосерійний коєф. варіації, %					7,5
S2	0	4,88	25,27	2,00	7,9
	2	2,84	24,18	2,00	8,3

	4	6,59	25,92	2,70	10,4
Середній внутрішньосерійний коєф. варіації, %					10,8

З метою встановлення наявності кореляційного зв'язку між часом ущільнення бетонної суміші та міцністю бетону результати випробування дослідних зразків-циліндрів в полівінілхлоридній оболонці було поділено на три вибірки за маркою бетонної суміші за легкоукладальністю по n = 30 зразків в кожній («V4» – 1-ша група, «S1» – 2-га група та «S2» – 3-тя група), а також у загальну вибірку обсягом n = 90 зразків. Обчислені коефіцієнти парної кореляції між часом ущільнення (фактор «X₂», хв.) та міцністю зразка (f_{c,cil,i} – функція відгуку, МПа) для кожної групи зразків, що бетонувались у складі конструктивного елемента, наведені в таблиці 3.

Для розв'язання питання, чи буде отримане значення коефіцієнту кореляції r_i свідчити про будь-яку кореляцію у загальній сукупності, застосовувалася статистика t [10,11]:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2} \quad (1)$$

із числом ступенів свободи v = n-2.

Отримані дані свідчать про наявність статистично значущого кореляційного зв'язку між досліджуваними факторами у загальній вибірці спостережень при рівні значущості 0,05 (тобто ймовірність отримати значення t > 2,4 менша, ніж 0,05 [14]). Поміж тим, слід відмітити, що при суттєвій рухливості суміші кореляція між часом її ущільнення та міцністю бетону відсутня (рис. 6 – 7).

З метою дослідження ступеня впливу рухливості бетонної суміші (фактор «X₃») на середнє значення міцності бетону зон довгих зразків (фактор «X₁») було застосовано дисперсійний аналіз [10]. При цьому оцінювались незміщені оцінки дисперсії (загальна, між партіями та залишкова) для кожної групи зразків («V4» – 1-ша група, 3 зразки; «S1» – 2-га група, 4 зразки та «S2» – 3-тя група, 3 зразки). Партією вважались спостереження (результати випробування) зразків-циліндрів, на які було розрізано довгі зразки після набору бетоном проектної міцності (рис. 5).

Таблиця 3

**Результати кореляційного аналізу (за фактором часу ущільнення бетонної суміші)/
Theresultsofcorrelationanalysis (by factor of compaction time of concrete mixture)**

Статистичні характеристики	Марка бетонної суміші за легкоукладальністю		
	V4	S1	S2
Коефіцієнт парної кореляції r _i між часом ущільнення (X ₂) та міцністю бетону f _{c,cil,i}	0,3 (t = 1,7)	0,4 (t = 2,3)	0,1 (t = 0,5)
	0,25(t = 2,4)		

Результати розрахунків, наведені в таблиці 4, свідчать про те, що досліджуване джерело мінливості є статистично значущим (за критерієм F, що визначається як співвідношення оцінки дисперсії між партіями до залишкової дисперсії та у всіх розглянутих випадках є більшим за відповідне табличне значення при 5% рівні значущості).

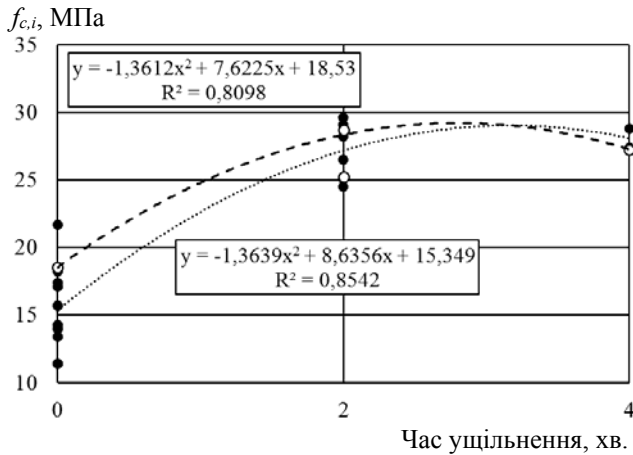


Рис. 6. Залежність міцності бетону від часу ущільнення для зразків типу V4 (нижня крива) та S1 (верхня крива) /

Dependence of concrete strength on compaction time for specimens of type V4 (lower curve) and S1 (upper curve)

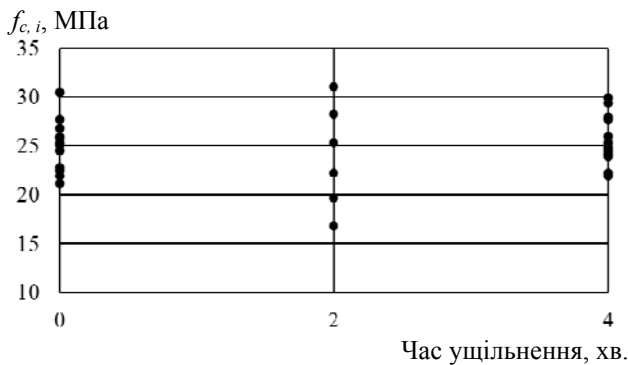


Рис. 7. Залежність міцності бетону від часу ущільнення для зразків типу S2 /

Dependence of concrete strength on compaction time for specimens of type S2

В результаті проведених випробувань (результати яких наведено в [20]) було виявлено суттєве коливання (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%).

Тобто експериментально доведено, що при застосуванні рухливих сумішей з осадкою конуса 4 – 9 см не залежно від часу їх ущільнення загальний коефіцієнт варіації міцності бетону по висоті в трубобетонних елементах становить близько 13%.

Таблиця 4

Результати дисперсійного аналізу (за фактором часу ущільнення бетонної суміші) /
The results of variance analysis (by factor of compaction time of concrete mixture)

Мінливість міцності бетону		Марка бетонної суміші за легкоукладальністю		
		V4	S1	S2
загальна	кільк. ступ. вільності	25	27	25
	оцінка	80,7	50,8	11,18
між партіями	кільк. ступ. вільності	2	3	2
	оцінка	10372319	1332076,1	108196,3
залишкова	кільк. ступ. вільності	23	24	23
	оцінка	901857,5	166650,6	9458,8
F-критерій		11,50	7,99	11,44
табличне значення F-критерію при 5% рівні значущості		4,28	3,01	4,28
Висновок		джерело мінливості є статистично значущим		

З метою встановлення різниці в міцності окремих зон кожний досліджуваний елемент пропонується умовно поділити на n зон по висоті, для яких обчислюються відповідні статистичні характеристики: середнє значення ($f_{cm,i}$) та дисперсія ($D(f_{c,i})$).

Однорідність дисперсій міцності бетону по зонах доцільно оцінювати за F-критерієм (критерієм Фішера)

$$F = D(f_{c,i}) / D(f_{c,i+1}), \quad (2)$$

де $D(f_{c,i})$ – дисперсія міцності бетону i -ої зони виробу.

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

$$t = |f_{cm,i} - f_{cm,i+1}| \cdot \sqrt{n} / \sqrt{D(f_{c,i}) + D(f_{c,i+1})}, \quad (3)$$

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

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

$$n_{ум} = \frac{2(n-1)(D(f_c)_i + D(f_c)_{i+1})}{\sqrt{D(f_c)_i^2 + D(f_c)_{i+1}^2}}, \quad (4)$$

де n – це кількість умовних ділянок (зон) 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

$$f_{ck} = f_{cm,min} (1 - 1,64 \cdot V_{c,t}), \quad (5)$$

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

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

Середня міцність бетону найбільш слабкої зони бетону визначається за формулою

$$f_{cm,min} = \gamma_{c,t} \cdot f_{cm}, \quad (6)$$

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

$\gamma_{c,t}$ – частковий коефіцієнт надійності 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» зони виробу

$$\gamma_{c,t} = (f_{cm,min} + f_{cm}^f) / 2f_{cm}, \quad (7)$$

Тоді необхідна марка бетону за міцністю можна підрахувати за формулою

$$f_{cm}^{kalk} = \frac{f_{ck,d}}{\gamma_{c,t} (1 - 1,64 \cdot V_{c,t})}, \quad (8)$$

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

За результатами власних експериментів для корегування середньої міцності партії бетону для виготовлення трубобетонних стійок можна, як нормоване значення, рекомендувати застосовувати мінливість (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 можна застосовувати стандартне значення мінливості міцності бетону – 13,5%.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.

Наведені в статті результати проведених експериментальних досліджень та їх статистичний аналіз, підтвердили необхідність врахування можливої неоднорідності міцності бетону конструктивних елементів (виробів), що мають ускладнені умови бетонування. Характерним прикладом таких виробів є трубобетонні стійки, адже при укладанні бетонної суміші у замкнений простір труби-оболонки, мають місце суттєві ризики утворення дефектів бетонного осердя (розшарування, порожнини, пори, тріщини, мінливість міцності по висоті зразка та інше). Також наявність зовнішнього армування (труби-оболонки, що одночасно виконує функції незнімної опалубки) ускладнює процес контролю міцності бетону неруйнівними методами. Виявлення та врахування закономірностей утворення неоднорідної міцності бетону по висоті потребує особливої уваги при ймовірнісному аналізі роботи та оцінюванні показників надійності елементів в цілому.

У зв'язку з цим авторами пропонується 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% від проектної.

Список використаних джерел

1. Баженов Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 528 с.
2. Гладишев Г. М. Визначення фактичної міцності бетону за результатами обстеження стовбура залізобетонної димової труби Н=120 м котлів ПТВМ № 1, 2, 3 на Київський ст.2 / Г. М. Гладишев // Будівельні конструкції : зб. наук. праць. – К. : НДІБК, 2001. – Вип. 54. – С. 71–76.
3. Гукасян О.М. Дослідження зміни міцності по висоті бетонного осердя трубобетонних елементів різної довжини// О.М.

- Гукасян / Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Вип. 33 – Рівне, 2016, С. 151–161.
4. Дворкин, Л.И. Основы бетоноведения / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Москва: Инфра-Инженерия, 2010. – 472 с.
 5. Лещинский А. М. Классификация неоднородностей прочности бетона / А. М. Лещинский // Строительные конструкции : Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – К. : Будівельник, 1986. – Вип. 39. – С. 47–49.
 6. Лівінський О. М. Будівельні матеріали та виробы : підручник / О. М. Лівінський, О. М. Пшінько, М. В. Савицький, І. І. Куліченко, О. І. Курок// Укр. акад. наук. - Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. В. Лазаряна : Акцент, 2014. – 656 с.
 7. Савицький М.В. Оцінка надійності позацинтового стиснутого залізобетонного елемента прямокутного перерізу імовірнісним методом/ Савицький М.В., А.Ю. Шевченко, Т.Ю. Цегельник/ Вісник придніпровської державної академії будівництва та архітектури: Сб. науч. трудов. Вып.№ 5. – Дн-вск., 2011. С. 20 – 25.
 8. Семко О. В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій: монографія /О. В. Семко, О. П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.
 9. Семко О. В. Про вплив мінливості міцності монолітного бетону на надійність споруд [Текст] / О. В. Семко, В. В. Спирін, О. В. Зернюк // Актуальні проблеми водного господарства : зб. наукових статей. – Рівне, 1997. – С. 87–88.
 10. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М. : Наука, 1971. –576 с.
 11. Рекомендации по статистическим методам контроля и оценки прочности бетона с учетом его однородности по ГОСТ 18105-86 [Текст]. – М. : Стройиздат, 1989. – 59 с.
 12. Рунова Р.Ф. Оценка прочности бетона: нормативные документы, условия испытаний, достоверность / Р.Ф. Рунова, И.И. Руденко // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. – К. : ДП “НДІБМВ”, Випуск 43. – 2012. . – С. 125 – 133.
 13. Стулий Н. Г. Распределение прочности и плотности мелкозернистого бетона в блок-балке и равной по объему серии контрольных образцов / Н. Г. Стулий // Надежность строительных конструкций : межвузовский сб. науч. трудов. – Куйбышев, 1990 – С. 92–94.
 14. Чирков В. П. Прикладные методы теории надежности в расчетах строительных конструкций : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / В. П. Чирков. – М. : Маршрут, 2006. – 620 с.
 15. EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures. EN 1992-1-1:2004 Part 1-1: General rules and rules for building.
 16. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures : 2th editions / Roger P. Johnson. – 2011. – 310 p.
 17. Cristofaro M. T. The Dispersion of Concrete Compressive Strength of Existing Buildings [Electronic resource]/ M. T. Cristofaro R. Pucinotti, M. Tanganelli, M. De Stefano// GGEE, volume 33. –pp 275-285. – Access mode: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-06394-2_16
 18. De Stefano M Effect of the variability in plan of concrete mechanical proprieties on the seismic response of existing RC framed structures[Electronic resource] / M De Stefano, M Tanganelli, S Viti // Bull Earthq Eng 11:1049–1060. doi:10.1007/s10518-012-9412-5. – Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10518-012-9412-5>
 19. STATISTICAL MODEL FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF LIGHTWEIGHT CONCRETE Andrzej S. NOWAK a, Anna M. RAKOCZY b <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/1499.pdf>
 20. Voskobiinyk Olena, Gukasian Olga Study of technological features of tubular compressed concrete members in concreting/ Full-text available Article Jan 2017 MATEC Web of Conferences/MATEC Web of Conferences 116, 02037 (2017)/ DOI: 10.1051/mateconf/20171160203 Transbud-2017 7.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu. M. *Tehnologiya betona* [Technology of concrete]. Moscow: Publishing House of the ASV, 2007, 528 p. (in Russian).
2. Gladishev G. M. *Viznachennya faktichnoyi mitsnostiI betonu za rezultatami obstezhennya stovbura zalizobetonnoyi dimovoyi trubi N=120 m kotlIv PTVM # 1, 2, 3 na kiyivskiy st.2* [Determination of the actual strength of concrete based on the results of examination of the trunk of a reinforced concrete chimney N = 120 m of boilers PTVM number 1, 2, 3 in Kiev no.2]. *BudivelnI konstruktsiYi*: zb. nauk. prats. Kiev, NDIBK, 2001. – Vip. 54. pp. 71–76. (in Ukrainian).
3. Gukasian O.M. *Doslidzhennya zmini mitsnosti po visoti betonного oserdyia trubobetonnih elementiv riznoyi dovzhini* [Study of strength changes of height concrete core concrete filled steel tubes elements of different length]. *Resursoekonomni materialy, Konstruktsiyi, Budivli ta sporudi. ZbIrnik naukovih prats.* – Vip. 33 – Rivne, 2016, S. 151–161. (in Ukrainian).
4. Dvorkin, L.I. *Osnoviyi betonovedeniya*[Fundamentals of Concrete Studies]. Moscow: Infra-Engineering, 2010. 472 p. (in Russian).
5. Leschinsky A.M. *Klassifikatsiya neodnorodnostey prochnosti betona*[Classification of heterogeneity of concrete strength]. *Building structures: Republican interdepartmental scientific and technical collection.* - K.: Budivelnik, 1986. - Issue. 39. - P. 47-49.(in Ukrainian).
6. Livinsky O. M. *BudivelnI materialy ta vyroby : pidruchnyk* [BuildingMaterialsandProducts]. O. M. Livinsky, O. M. Pshinko, M. V. Savytsky, I. I. Kulichenko, O. I. Kurok// Ukr. akad. nauk. - Dnipropetrovsk : Dnipropetr. nats. un-t zalizn. transp.

im. V. Lazaryana : Aktsent, 2014. – 656 s.(in Ukrainian).

7. Savytskyy M.V. *Otsinka nadiynosti pozatsentrovo stysnutoho zalizobetonnoho elementa pryamokutnoho pererizu imovirnisnym metodom.* [Estimation of reliability of the noncentrally compressed rectangular rectangular cross-section element by the probabilistic method]/ Savytskyy M.V., A.Yu. Shevchenko, T.Yu. Tsehelnik/ Visnyk prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury: Sb. nauch. trudov. Vyp.№ 5. – Dn-vsk., 2011. C. 20 – 25.(in Ukrainian).
8. Semko O. V. *Keruvannya rizikami pri proektuvanni ta ekspluatatsiyi stalezalizobetonnih konstruksiy* [Risk management in the design and operation of steel reinforced concrete structures: monograph] Poltava: PoltNTU, 2012. - 514 p.(in Ukrainian).
9. Semko O. V. *Pro vpliv mnlivostI mItsnostI monolltnogo betonu na nadylnst sporud.* [On the influence of the variability of the strength of monolithic concrete on the reliability of structures].Aktualni problemi vodnogo gospodarstva : Zbirnik naukovih prats – Rivne 1997. – C. 87 – 88. (in Ukrainian).
10. Mitropolskiy A. K. *Tehnika statisticheskikh vyichisleniy.*[The technique of statistical computations]. M.Nauka, 1971. 576 p.(in Russian).
11. *Rekomendatsii po statisticheskim metodam kontrolya i otsenki prochnosti betona s uchetom ego odnorodnosti po GOST 18105-86.* [Recommendations on statistical methods for monitoring and assessing the strength of concrete, taking into account its uniformity in accordance with GOST 18105-86]. M. : Stroyizdat, 1989. – 59 s.(in Russian).
12. Runova R.F. *Otsenka prochnosti betona: normativnyie dokumenty, usloviya ispytaniy, dostovernost* [Estimation of concrete strength: normative documents, test conditions, reliability]. Building materials, products and sanitary equipment. Scientific and technical collection. - K.: "NDIBMV", Issue 43. - 2012. - P. 125 - 133.(in Ukrainian).
13. Stulii N. G. *Raspredelenie prochnosti i plotnosti melkozernistogo betona v blok-balke i ravnoy po ob'emuy serii kontrolnyih obraztsov.*[Distribution of strength and density of fine-grained concrete in block beam and equal in volume of a series of control samples]. Reliability of building structures: Interuniversity Sat. Scientific Of labor. - Kuibyshev, 1990 - S. 92-94.(in Ukrainian).
14. Chirkov V.P., *Raspredelenie prochnosti i plotnosti melkozernistogo betona v blok-balke i ravnoy po ob'emuy serii kontrolnyih obraztsov.*[Applied methods of reliability theory in calculations of building constructions: study. Allowance for higher educational institutions of railways Transport]. VP Chirkov. - M.: Route, 2006. - 620 p.(in Russian).
15. EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures. EN 1992-1-1:2004 Part 1-1: General rules and rules for building.
16. Designers' Guide to Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures : 2th editions / Roger P. Johnson. – 2011. – 310 p.
17. Cristofaro M. T. The Dispersion of Concrete Compressive Strength of Existing Buildings [Electronic resource]./ M. T. Cristofaro R. Pucinotti, M. Tanganelli, M. De Stefano// GGEE, volume 33. - pp 275-285. – Access mode: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-06394-2_16
18. De Stefano M Effect of the variability in plan of concrete mechanical proprieties on the seismic response of existing RC framed structures[Electronic resource] / M De Stefano, M Tanganelli, S Viti // Bull Earthq Eng 11:1049–1060. doi:10.1007/s10518-012-9412-5. – Access mode: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10518-012-9412-5>
19. STATISTICAL MODEL FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF LIGHTWEIGHT CONCRETE Andrzej S. NOWAK a, Anna M. RAKOCZY b <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/1499.pdf>
20. Voskobiinyk Olena, Gukasian Olga Study of technological features of tubular compressed concrete members in concreting/ Full-text available Article Jan 2017 MATEC Web of Conferences/MATEC Web of Conferences 116, 02037 (2017)/ DOI: 10.1051/mateconf/20171160203 Transbud-2017 7.

Стаття надійшла до редколегії: 30.06.2017.