



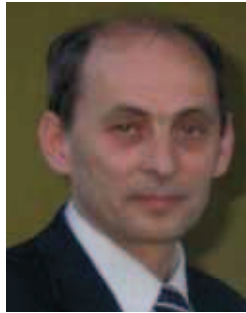
Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v21i3.109>

УДК 624.21



ОКСЕНЬ Є. І.

Д-р. технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна, e-mail: eioksen@gmail.com, тел. +38-050-674-47-78, ORCID: 0000-0003-1075-6840



ХРЕБЕТ В. Г.

Канд. фізико-математичних наук, доцент, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна, e-mail: v.khrebet@nau.edu.ua, тел. +38-099-348-47-12, ORCID: 0000-0002-0191-1768



ШЕЛЯШКО Р. І.

Молодший науковий співробітник, ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна», м. Київ, Україна, e-mail: shelyashkor@gmail.com, тел. +38-098-988-47-32, ORCID: 0000-0002-1946-1590

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЛОКАЛЬНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ НА ПОКАЗНИКИ МІЦНОСТІ БЕТОНУ В УМОВАХ ОБМЕЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЗРАЗКІВ, ЩО ПІДЛЯГАЮТЬ ВИПРОБУВАННЮ

АНОТАЦІЯ

Робота спрямована на підвищення термінів служби споруд шляхом забезпечення надійності визначення міцності захисного шару бетону конструкцій будівель та споруд, зокрема плит проїзної частини мостів перед влаштуванням гідроізоляції. Виконано оцінку впливу випадкового розподілу локальних неоднорідностей властивостей бетону на показники вимірювань міцності в умовах обмеження кількості зразків, що підлягають випробуванню. Шляхом теоретичних досліджень впливу систематичної і випадкової складових похибок встановлена залежність між числом вимірювань і відношенням допустимої випадкової похибки до середньоквадратичного відхилення вимірюваної величини за умови її розподілу за нормальним законом. Виявлено, що для випадкових величин, які розподіляються за нормальним законом, вплив систематичної і випадкової складових похибок на число вимірів має вигляд інтегральної залежності, а вплив відносної похибки на число вимірів при відповідній надійності результатів вимірювання носить гіперболічний характер. За умови ретельної підготовки ділянки вимірювання

міцності бетону встановлення надійності 0,7-0,75 призводить до стабілізації середнього значення міцності на рівні третьої значущої цифри при загальній кількості вимірювань до 16 і може бути рекомендовано для практичного застосування в більшості випадків. Оцінка фактичної міцності бетону можлива на ймовірнісній основі з відповідним обґрунтуванням достатньої кількості вимірювань за обумовленою надійністю випробувань. Розроблено методику визначення необхідної кількості вимірювань для забезпечення заданої надійності визначення міцності бетону і встановлення поточного значення надійності в процесі випробувань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: бетон, міцність, розподіл, захисний шар, поверхня, площа, неоднорідність, структура, невизначеність, похибка, число вимірів.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОБРАЗЦОВ, ПОДЛЕЖАЩИХ ИСПЫТАНИЮ



ОКСЕНЬ Е. И. Др. технических наук, проф., ведущий научный сотрудник, ГП «Научно-исследовательский институт строительных конструкций»,

г. Киев, Украина.

e-mail: eioksen@gmail.com,

тел. +38-050-674-47-78,

ORCID: 0000-0003-1075-6840

ХРЕБЕТ В. Г. Канд. физико-математических наук, доцент, Национальный авиационный университет,

Киев, Украина,

e-mail: v.khrebet@nau.edu.ua

тел. +38 (099) 348-47-12,

ORCID: 0000-0002-0191-1768

ШЕЛЯШКО Р. И. Младший научный сотрудник, ГП «Государственный дорожный научно-исследовательский институт имени Н. П. Шульгина»,

г. Киев, Украина,

e-mail: shelyashkor@gmail.com,

тел. + 38-098-988-47-32,

ORCID: 0000-0002-1946-1590

АННОТАЦИЯ

Работа направлена на повышение сроков службы сооружений путем обеспечения надежности определения прочности защитных слоёв бетона конструкций зданий и сооружений, в частности плит проезжей части мостов перед устройством гидроизоляции. Выполнена оценка влияния случайного распределения локальных неоднородностей свойств бетона на показатели измерений прочности в условиях ограничения количества образцов, подлежащих испытанию. Путем теоретических исследований влияния систематической и случайной составляющих погрешностей установлена зависимость между числом измерений и отношением допустимой случайной погрешности к среднеквадратическому отклонению измеряемой величины, при условии ее распределения по нормальному закону. Выявлено, что для случайных величин, которые распределяются по нормальному закону, влияние систематической и случайной составляющих погрешностей на число измерений имеет вид интегральной зависимости, а влияние относительной погрешности на число измерений при соответствующей надежности результатов измерения носит гиперболический характер. При условии тщательной подготовки участка измерения прочности бетона установление надежности 0,7-0,75 приводит к стабилизации среднего значения прочности на уровне третьей значащей цифры при общем количестве измерений до 16 и может быть рекомендовано для практического применения в большинстве случаев. Оценка фактической прочности бетона возможна на вероятностной основе с соответствующим обоснованием достаточного количе-

ства измерений при обусловленной надежности испытаний. Разработана методика определения необходимого количества измерений для обеспечения заданной надежности определения прочности бетона и установления текущего значения надежности в процессе испытаний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, прочность, распределение, защитный слой, поверхность, плоскость, неоднородность, структура, неопределенность, погрешность, число измерений.

ESTIMATION OF THE EFFECT OF LOCAL INHOMOGENEITIES ON THE INDICATORS OF STRENGTH OF CONCRETE IN THE CONDITIONS OF LIMITATION OF THE NUMBER OF SAMPLES TO BE TESTED

OKSEN E. I. Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, State Enterprise «Scientific Research Institute of Building Structures», Kyiv, Ukraine.

e-mail: eioksen@gmail.com,

tel. + 38-050-674-47-78,

ORCID: 0000-0003-1075-6840

KHREBET V. G. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, National Aviation University,

Kyiv, Ukraine.

e-mail: v.khrebet@nau.edu.ua,

tel. +38 (099) 348-47-12,

ORCID: 0000-0002-0191-1768;

SHELYASHKO R. I. Junior Researcher, State Enterprise «State Road Scientific Research Institute named after N. P. Shulgin»,

Kyiv, Ukraine.

e-mail: shelyashkor@gmail.com,

tel. + 38-098-988-47-32,

ORCID: 0000-0002-1946-1590

ABSTRACT

The random distribution effect of concrete properties local inhomogeneities on the strength measurement indicators was evaluated under the conditions of limiting the number of samples to be tested. By theoretical studies of errors systematic and random components influence, a relationship was established between the measurements number and the ratio of the permissible random error to the measured quantity standard deviation, provided it is distributed according to the normal law. It was revealed that for random variables distributed according to the normal law, the errors systematic and random components influence on the measurements number has the form of an integral dependence, and the relative error effect on the measurements number with the appropriate reliability of measurement results is hyperbolic. Provided that a site for the concrete strength measurements is carefully prepared, establishing the reliability of 0.7-0.75 leads to the average strength value stabilization at the



level of the third significant figure with a total number of measurements up to 16 and can be recommended for practical use in most cases. The actual concrete strength assessment is possible on a probabilistic basis with a corresponding justification of a sufficient measurements number with the due tests reliability. A technique has been developed for determining the measurements number required to ensure a given reliability of determining the concrete strength and to establish the current reliability value during the tests.

KEYWORDS: concrete, strength, distribution, protective layer, surface, plane, heterogeneity, structure, uncertainty, error, number of measurements.

ВСТУП

Важливим напрямком розвитку дорожньої галузі України є забезпечення розрахункових показників довговічності та надійності конструктивних елементів, в тому числі, в умовах підвищення інтенсивності руху, збільшення вагових характеристик транспортних засобів та старіння конструкцій елементів мостових споруд. Передчасна втрата гідроізолюючих властивостей покриття мостів призводить до швидкого зростання інтенсивності руйнування плит проїзної частини, балок прогонових будов і мостових опор. Одним із заходів щодо забезпечення довговічності гідроізоляції проїзної частини є підвищення якості контролю бетонних поверхонь плит проїзної частини автодорожніх мостів перед влаштуванням гідроізоляції, оскільки якість бетону в шарі, що контактує з матеріалами гідроізоляції, суттєво впливає на термін служби самої гідроізоляції. Значення контролю якості виконання робіт також обумовлюється досить тривалим терміном твердіння бетону, під час якого поверхня бетону піддається руйнуючій дії зовнішнього середовища, а також наявністю значних розривів в часі між завершенням бетонних робіт та влаштуванням гідроізоляції. Актуальність теми досліджень для народного господарства України полягає в підвищенні термінів служби гідроізоляції покриття мостів, будівель та споруд шляхом забезпечення надійності визначення міцності захисного шару бетону плит проїзної частини перед влаштуванням гідроізоляції.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Застосування як руйнівних так і неруйнівних методів контролю міцності бетону внаслідок структурних неоднорідностей самого матеріалу і принципів вимірювання [1–5] призводить до досить великого розкиду значень, що отримується під час випробувань. Норми і нормативні документи [6–9] встановлюють ймовірнісний підхід до виз-

начення міцності бетону на підставі нормального закону розподілу, при якому збільшення кількості випробувань підвищує точність вимірювання. В роботах [10–16] сформульовані та узагальнені основи застосування статистичних і ймовірнісних методів при обробці та оцінюванні результатів вимірювань, а обґрунтування правил практичного застосування цих основ викладені в [17–22]. Але недостатня вивченість питання оцінювання результатів вимірювань в умовах обмеження кількості зразків, що підлягають випробуванню, перешкоджає підвищенню об'єктивності визначення властивостей матеріалів в будівельній галузі, зокрема таких як бетони, асфальтобетони, матеріали основ та ґрунтів.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ — процес визначення властивостей бетонів та інших будівельних матеріалів шляхом руйнівного і неруйнівного контролю в умовах обмеження кількості зразків, що підлягають випробуванню.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ — вплив систематичної та випадкової складових похибки на число вимірів та надійність результатів вимірювання міцності бетонів і інших будівельних матеріалів.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ — підвищення термінів служби споруд шляхом забезпечення надійності визначення міцності бетону конструкцій будівель та споруд, зокрема плит проїзної частини мостів, перед влаштуванням гідроізоляції.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

— дослідити вплив систематичної та випадкової складових похибок на число вимірів та надійність результатів вимірювання і встановити зв'язок між необхідною кількістю вимірювань в випробувальній серії, та надійністю вимірювань;

— розробити алгоритм і програму визначення необхідної кількості вимірювань і поточної надійності вимірювання міцності бетону мостів та інших будівельних конструкцій механічними неруйнівними методами.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

1. Дослідження впливу розбіжностей результатів на необхідну кількість вимірювань

Визначимо систематичну похибку методи-ки виконання вимірювання фізичної величини. Відповідно до рекомендацій [17–20] при найбільш повному обліку похибок вирізняють п'ять основних джерел систематичної похибки:

- 1 — модель об'єкта вимірювань;
- 2 — метод вимірювання;
- 3 — засіб вимірювання або їх сукупність;
- 4 — оператор;
- 5 — фактори умов вимірювань, що впливають на результат.



При цьому також можлива поява додаткової похибки від прийнятого алгоритму обробки результатів спостережень. Оскільки величина похибки кожної зі складових визначається стандартними технічними нормами на обладнання, то при вимірюванні в середній частині паспортної характеристики приладів при найбільш жорсткому обліку абсолютна величина невиключного залишку систематичної похибки визначиться як:

$$\theta = \sum_{i=1}^5 \theta_i. \quad (1)$$

У разі адаптивного обліку похибок окремих складових сукупності засобів вимірювань систематична похибка засобів вимірювань визначиться як середньоквадратичне значення похибок окремих складових

$$\theta = \sqrt{\sum_{i=1}^5 \theta_i^2}. \quad (2)$$

Якщо в результаті вимірювань одержувані значення величини мають розкид, що характеризується середньоквадратичним відхиленням S , то прийнята методика вимірювання може бути оцінена деякою відносною величиною, наприклад, мірою точності вимірювання

$$M_{am} = \frac{\theta}{S}. \quad (3)$$

Відповідно до рекомендацій [17–19] при $M_{am} \geq 8$ має місце розкид значень величини. Його вважають дуже незначним у порівнянні з невиключним залишком систематичної похибки і число вимірювань обмежують двома або трьома. В іншому випадку потрібно обґрунтування числа вимірів, наприклад, виходячи з необхідної надійності.

При проведенні вимірювань в кожному конкретному випадку будемо визначати допустиму величину випадкової похибки δ щодо систематичної похибки прийнятої методики виконання вимірювання θ . Зменшувати випадкову похибку доцільно до тих пір, поки її вплив буде несуттєвим у порівнянні з систематичною похибкою. Тоді в результаті вимірів можна стверджувати, що точність вимірювань відповідає невиключному залишку систематичної похибки.

Якщо в процесі вимірювання фізична величина має розкид значень, то, прийнявши припущення про нормальний закон розподілу цього розкиду для прийнятої системи, як, наприклад, для бетонів [6–9], число вимірювань, що забезпечують її визначення за заданою надійністю, може бути отримано наступним чином. Нехай математичне сподівання випадкової величини зусилля деформування $\bar{X} \in a$ або

$$M(\bar{X}) = a. \quad (4)$$

При вимірюванні похибка величини \bar{X} містить випадкову і систематичну складові. Будемо вважати, що всі можливості зменшення систематичної похибки вичерпані і величина систематичної похибки становить θ . Визначимо таке число вимірювань, при якому випадкова складова похибки дорівнюватиме прийнятій величині δ із заданою надійністю γ . При цьому значення δ зіставлятимемо зі систематичною похибкою θ прийнятої методики експерименту. Наприклад, для практичного використання будемо вважати достатнім співвідношення

$$\delta = (0.1 \div 0.5) \theta. \quad (5)$$

Для визначення числа вимірювань нормально розподіленої випадкової величини \bar{X} скористаємося фундаментальною залежністю між середнім квадратичним відхиленням випадкової величини $\sigma(\bar{X})$ і середньоквадратичною похибкою $\sigma(x)$ серії вимірювань

$$\sigma(\bar{X}) = \frac{\sigma(x)}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Введенням поняття надійності вимірювань γ ми хочемо зажадати, щоб ймовірність абсолютної величини різниці між середнім арифметичним вимірюваної величини x і математичним сподіванням випадкової величини a була менше δ з надійністю γ

$$P(|x - a| < \delta) = \gamma. \quad (7)$$

Якщо випадкова величина має нормальний закон розподілу, то

$$P(\alpha < x < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - a}{\sigma(x)}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - a}{\sigma(x)}\right), \quad (8)$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ — функція Лапласа,

або з урахуванням симетрії функції Лапласа

$$P(|x - a| < \delta) = 2 \cdot \Phi\left(\frac{\delta}{\sigma(x)}\right). \quad (9)$$

Здійснив заміну x на \bar{X} та $\sigma(x)$ на $\sigma(\bar{X})$ у виразі (9) з одночасною постановкою (8) та урахуванням (7) отримаємо:

$$P(|\bar{X} - a| < \delta) = 2 \cdot \Phi\left(\frac{\delta \cdot \sqrt{n}}{\sigma(x)}\right) = 2 \cdot \Phi(t) = \gamma, \quad (10)$$



де верхня межа вимірювання

$$t = \frac{\delta \cdot \sqrt{n}}{\sigma(x)} = \frac{\delta \cdot \sqrt{n}}{S} = \varepsilon \sqrt{n}; \quad (11)$$

S - оцінка $\sigma(x)$, що розраховується після кожного чергового вимірювання, а $\varepsilon = \left(\frac{\delta}{S}\right)$ - відносна похибка попередньої серії вимірювань.

2. Обґрунтування достатньої кількості вимірювань за заданої надійності

Таким чином, число вимірів за умовою достатності може бути розраховане після кожного чергового вимірювання як

$$n = \frac{t^2}{\left(\frac{\delta}{S}\right)^2} = \frac{t^2}{\varepsilon^2}, \quad (12)$$

де верхня межа вимірювання t знаходиться з рішення рівняння (10)

$$\Phi(t) = \frac{\gamma}{2}, \quad (13)$$

або, в розгорнутому вигляді, як рішення інтегрального рівняння з невідомою верхньою межею

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{z^2}{2}} dz - \frac{\gamma}{2} = 0. \quad (14)$$

Аналіз чисельно розрахованих за формулами (12), (13) і (16) значень числа вимірювання n для відповідних значень δ та γ показує, що для досягнення високої надійності кількість вимірювань (табл. 1) має бути прийнята достатньо великою.

У тих випадках, коли оцінка середнього квадратичного відхилення випадкової величини в 10 і більше разів перевищує допустиму величину випадкової похибки (див. рис. 1), навіть при неви-

сокому ступені надійності виконання вимірювань вимагає автоматизації процесу вимірювань і обробки отриманих результатів.

Очевидно, що відмінність закону розподілу випадкової величини від нормального, призведе до зміни величини необхідного числа вимірювань, при збереженні її порядку. У рекомендаціях [21] з посиланням на [22] наводяться значення необхідного числа вимірювань, з якими розрахункові значення (див. табл. 1) багато в чому близькі або збігаються.

Слід зауважити, що після перетворення рівняння (14) шляхом підстановки поточного значення параметра $t_c = \varepsilon_c \sqrt{n_c}$ після проведення кожного чергового вимірювання як

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_c} e^{-\frac{z^2}{2}} dz - \frac{\gamma_c}{2} = 0 \quad (16)$$

з його рішення, може бути отримано поточне значення надійності проведеної серії вимірювань γ_c .

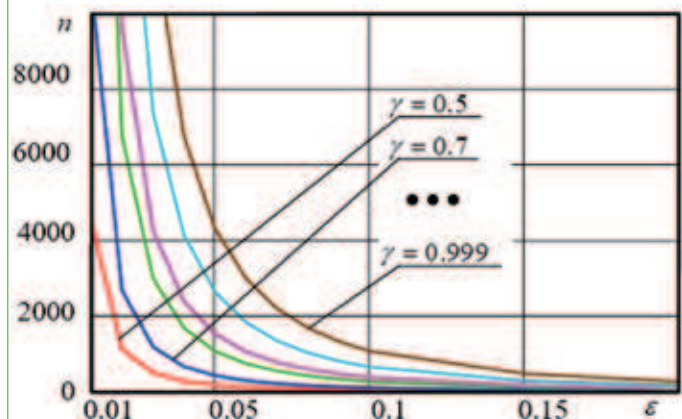


Рис. 1. Вплив відносної похибки на число вимірів

Сукупність отриманих чисельних результатів (див. табл. 1) та встановлених залежностей (див. рис. 1) дозволяють визначити, що вплив систематичної і випадкової складових похибок на число вимірів має вигляд інтегральної залежності, а вплив відносної похибки на число вимірів при відповідній надійності результатів вимірювання носить гіперболічний характер.

3. Розробка алгоритму і програми визначення необхідної кількості вимірювань і поточної надійності вимірювання міцності бетону

На підставі чисельного рішення рівнянь

Таблиця 1. Необхідна кількість вимірювань нормально розподіленої випадкової величини

ε	γ					
	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99	0,999
1,0	1	1	3	4	7	10
0,5	2	4	11	15	26	39
0,4	3	7	17	24	41	60
0,3	5	12	30	45	73	107
0,2	11	27	68	95	164	241
0,1	46	107	270	380	655	965
0,05	182	429	1081	1519	2620	3858
0,01	4551	10729	27037	37975	65499	96460



(14) та (15) розроблено алгоритми визначення необхідної кількості вимірювань і поточної надійності вимірювання, на основі яких розроблено сукупність програм аналізу результатів випробувань. Прикладом практичної реалізації вказаного алгоритму є програма обробки результатів вимірювання міцності захисного шару бетону методом пружного відскоку. В варіанті «11-Вимірювання-v3» програма адаптована для використання склерометрів довільних типів (рис. 2). Для цього до програми підключено модуль оцифровування результатів вимірювання характеристиками конкретних зразків склерометрів, з можливістю коригування шкали за результатами перевірочних випробувань. При використанні програми (рис. 3) слід попередньо вибрати тип зразка склерометра 1, що використовується, встановити напрям випробувального удару 2

(див. рис. 26), визначити значення складових джерел систематичної похибки Σ , призначити бажане для отримання після виконання серії випробувань значення надійності вимірювання 4. Надалі, в процесі випробувань слід заносити в поле 5 «Дані вимірювання» в текстовому форматі з розділювачем «пробіл» або «переведення рядка» і програма буде розраховувати поточні значення міцності бетону та досягнуту надійність вимірювань. Результатом розрахунків на кожному кроці вимірювання також є необхідна кількість випробувань, реалізація яких дозволить визначити міцності шару бетону при бажаній надійності.

В програмі «11-Вимірювання-v3» рішення інтегрального рівняння здійснюється чисельно методом «золотого перетину» (рис. 3б). Ітерації з пошуку невідомої верхньої межі припиняються за досягненням наперед заданої розбіжності, яка

а)



б)

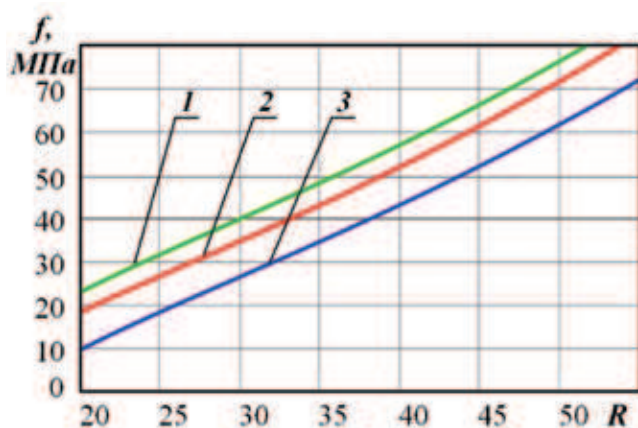


Рис. 2. Вимірювання міцності бетону склерометром:

- а) загальний вигляд: 1 — вимірювальна площадка; 2 — абразивний камінь; 3 — неодимовий магніт;
б) градувальна характеристика молотка Шмідта Proseq L-9 № 9233:
1 — удар вниз; 2 — горизонтальний удар; 3 — удар вгору

а)



б)

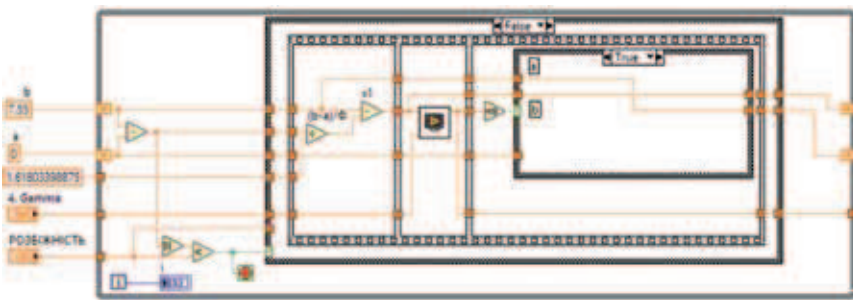


Рис. 3. Програма «11-Вимірювання-v3»:

- а) робоча панель; б) модуль рішення інтегрального рівняння методом «золотого перетину»



а)



б)



Рис. 4. Визначення міцності бетону захисного шару плит проїзних частин мостів:
а) міст на автомобільній дорозі М-03 Київ — Харків — Довжанський, км 675+378;
б) міст на автомобільній дорозі Н-03 Житомир — Чернівці, км 273+508.

забезпечує точність рішення $0,1 \times 10^{-9}$.

Однією з переваг запропонованого підходу до проведення експериментальних досліджень є встановлення як потрібної кількості вимірювань для забезпечення заданої надійності, так і визначення поточного значення надійності проведеної серії після кожного чергового вимірювання. Саме це надає можливість в умовах обмеження кількості зразків, що підлягають випробуванню, за значенням отриманої поточної надійності проведеної серії робити висновок про можливість завершення вимірювань.

На підставі отриманих результатів авторами статті розроблено методику визначення міцності бетону захисного шару залізобетонних та бетонних конструкцій мостів механічними неруйнівними способами [23].

Досвід застосування розробленої методики та експериментальні дослідження з визначення міцності захисного шару бетону на лабораторних зразках, відібраних зразках споруд та в польових умовах (рис. 4) вказує на необхідність ретельної підготовки ділянки вимірювання (див. рис. 2а):

- вирівнювання поверхні бетону абразивом з подальшим очищенням;
- визначення розташування арматури, наприклад за допомогою неодимових магнітів, з подальшим виключенням цих зон з областей вимірювання;
- виключенням більш ніж однократного вимірювання в одній точці без проміжного зачищення. При виконанні цих умов встановлення надійності 0,7–0,75 призводить до стабілізації середнього значення міцності на рівні третьої значущої цифри при загальній кількості вимірювань 12–16 і може бути рекомендовано для практичного застосування в більшості випадків.

ВИСНОВКИ

1. Шляхом теоретичних досліджень встановлено, що для випадкових величин, які розподіляються за нормальним законом, вплив систематичної і випадкової складових похибок на число вимірів має вигляд інтегральної залежності, а вплив відносної похибки на число вимірів при відповідній надійності результатів вимірювання носить гіперболічний характер.
2. За умови ретельної підготовки ділянки вимірювання міцності захисного покриття бетону, встановлення надійності 0,7–0,75, призводить до стабілізації середнього значення міцності на рівні третьої значущої цифри при загальній кількості вимірювань 12–16, що може бути рекомендовано для практичного застосування в більшості випадків.
3. Розроблена методика визначення необхідної кількості вимірювань для забезпечення заданої надійності визначення міцності бетону і встановлення поточного значення надійності в процесі випробувань, рекомендується для застосування в суміжних областях, в тому числі, в умовах обмеження кількості зразків, що підлягають випробуванню.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Глухов Д. О., Богущ Р. П., Лазовский Е. Д., Глухова Т. М. Полный вероятностный расчет надежности конструктивного железобетонного элемента // Строительство. Прикладные науки. Строительные конструкции, 2017, № 16, — с. 67–76.
2. Улыбин А.В. О выборе метода контроля прочности бетона построенных сооруже-



- ний // Инженерно-строительный журнал, 2011, № 4, — с. 10–15.
3. Kurtulus C., Bozkur A. Determination of concrete compressive strength of the structures in Istanbul and Izmit Cities (Turkey) by combination of destructive and non-destructive methods // *International Journal of the Physical Sciences*, 2011, № 6(16), — p. 4044–4047.
 4. Thandavamoorthy T. S. Determination of concrete compressive strength: A novel approach // *Advances in Applied Science Research*, 2015, № 6(10), — p. 88–96.
 5. Nooman M. T. Effect of Zeolite Inclusion on Some Properties of Concrete and Corrosion Rate of Reinforcing Steel Bars Imbedded in Concrete // *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2016, № 13, — p. 51–59.
 6. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009 [Чинний від 2011.06.01]. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. — 71 с.
 7. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками: ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [Чинний від 2010.09.01]. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. — 43 с. (Національний стандарт України).
 8. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю: ДСТУ Б В.2.7-220:2009 [Чинний від 2010.09.01]. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. — 20 с. (Національний стандарт України).
 9. Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності: ДСТУ Б В.2.7-224:2009 [Чинний від 2010.09.01]. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. — 20 с. (Національний стандарт України).
 10. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / — М.: КНОРУС, 2010. — 664 с.
 11. Кокс Д. Задачи по теоретической статистике с решениями / Д. Кокс, Д. Хинкли. — М.: Мир, 1981. — 225 с.
 12. Шиллинг Г. Статистическая физика в примерах / Г. Шиллинг — М.: Мир, 1976. — 432 с.
 13. Карасёв А. И. Теория вероятностей и математическая статистика / А. И. Карасёв. — М.: Статистика, 1979. — 280 с.
 14. Гренандер У. В. Краткий курс вычислительной вероятности и статистики / У. Гренандер, В. Фрайберг — М.: Наука, 1978. — 192 с.
 15. Леман Э. Проверка статистических гипотез / Э. Леман. — М.: Наука, 1979. — 408 с.
 16. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. — М.: Физматлит, 2006. — 16 с.
 17. Селиванов М. Н. Фридман А.Э., Кудряшева Ж.Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга / М. Н. Селиванов, А. Э. Фридман, Ж. Ф. Кудряшева. — Ленинград: Лениздат, 1987. — 295 с.
 18. Артемьев Б. Г. Справочное пособие для работников метрологических служб: в 2-х кн. / Б. Г. Артемьев, С. М. Голубев. — М.: Издательство стандартов, 1990. — 352+200 с.
 19. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений / П. Тойберт. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 88 с.
 20. Брянский Л. Н. Краткий справочник метролога. Справочник / Л. Н. Брянский, А. С. Дойников. — М.: Издательство стандартов, 1991. — 79 с.
 21. Зайдель А. Н. Погрешности измерений физических величин / — Ленинград: Наука, 1985. — 112 с.
 22. Романовский В. И. Основные задачи теории ошибок / В. И. Романовский — М.: Гостехиздат, 1947. — 115 с.
 23. М 42.1-37641918-760:2017 «Методика визначення міцності бетону захисного шару залізобетонних та бетонних конструкцій мостів механічними неруйнівними способами» — Київ: Укравтодор, ДП «ДерждорНДІ», 2017. — 24 с.

REFERENCES

1. Glukhov, D.O., Bogush, D.R., Lazovsky, E.D. and Glukhova, T.M. (2017). Probability analysis of the structural reinforced concrete element reliability. *Civil engineering. Applied sciences. Civil structures*, 16, 67–76 [in Russian].
2. Ulybin, A.V. (2011). On the Choice of Concrete Strength Inspection Methods of Ready-built Structures О выборе метода контроля прочности бетона построенных сооружений. *Magazine of Civil Engineering*, 4, 10–15 [in Russian].
3. Kurtulus, C. & Bozkur, A. (2011). Determination of concrete compressive strength of the structures in Istanbul and Izmit Cities (Turkey) by combination of destructive and non-destructive methods. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(16), 4044–4047 [in English].
4. Thandavamoorthy, T.S. (2015). Determination of concrete compressive strength: A novel approach. *Advances in Applied Science Research*, 6(10), 88–96 [in English].



5. Nooman, M.T. (2016). Effect of Zeolite Inclusion on Some Properties of Concrete and Corrosion Rate of Reinforcing Steel Bars Imbedded in Concrete. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13, 51–59 [in English].
6. Structures of buildings and facilities. Concrete and reinforced concrete structures. Main provisions. (2011). DBN VB.2.6-98:2009 from 01st June 2011. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
7. Building materials. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens (2010). DSTU B V.2.7-214:2009 from 01st September 2010. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
8. Building materials. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of nondestructive testing. (2010). DSTU B V.2.7-220:2009 from 01st September 2010. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
9. Building materials. Concretes. Rules for strength control. (2010). DSTU B V.2.7-224:2009 from 01st September 2010. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
10. Venttsel, E.S. (2010). *Probability theory*. Moscow: KNORUS [in Russian].
11. Cox, D.R. & Hinkley, D.V. (1981). *Problems and solutions in theoretical statistics*. (T.V.Chepurin, Trans.), Yu.K.Beliaev (Ed.). Moscow: Mir [in Russian].
12. Shilling, H. (1976). *Statistical physics in examples*. Moscow: Mir [in Russian].
13. Karasiov, A.I. (1979). *Probability theory and mathematical statistics*. Moscow: Statistika [in Russian].
14. Grenander, U.V. & Freiberg, V. (1978). *Short course in computational probability and statistics*. Moscow: Nauka [in Russian].
15. Leman, E. (1979). *Testing of statistical hypothesis*. Moscow: Nauka [in Russian].
16. Kobzar, A.I. (2006). *Applied mathematical statistics. For engineers and scientists*. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
17. Selivanov, M.N., Fridman, A.E. & Kudriasheva, Zh.F. (1987). *Measurements quality. Metrological reference book*. Leningrad: Lenizdat [in Russian].
18. Artemiev, B.G. & Golubev, S.M. (1990). *Handbook for metrology service workers: in 2 books*. Moscow: Standards Publisher [in Russian].
19. Täubert, P. (1988). *Assessment of measurement results accuracy*. Moscow: Energoatomizdat [in Russian].
20. Brianskii, L.N. & Doinikov, A.S. (1991). *Metrologist's quick reference handbook. Manual*. Moscow: Standards Publisher [in Russian].
21. Zaidel, A.N. (1985). *Physical quantities measurements inaccuracy*. Leningrad: Nauka [in Russian]., — 112 c.
22. Romanovskii, V.I. (1947). *The error theory basic problems*. Moscow: Gostekhizdat [in Russian].
23. Procedure for determining the concrete strength in the reinforced concrete and concrete bridge structures protective layer by mechanical non-destructive methods. (2017). М 42.1-37641918-760:2017. Kyiv: Ukravtodor, SE DerzhdorNDI [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 15.04.2019 року.