

Карпец Мирослав Васильевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Отдел структурной химии твердого тела, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАНУ, ул. Кржижановского, 3, г. Киев, Украина, 03680; e-mail: mkarpets@ukr.net.

Муратов Валерий Борисович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Отдел тонкого неорганического синтеза, термодинамики и кинетики гетерофазных процессов, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАНУ, ул. Кржижановского, 3, г. Киев, Украина, 03680

Васильев Александр Алексеевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Отдел тонкого неорганического синтеза, термодинамики и кинетики гетерофазных процессов, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАНУ, ул. Кржижановского, 3, г. Киев, Украина, 03680; e-mail: vasalexandr@gmail.com.

Barvitskiy Pavlo – PhD-student, Department of Promising technologies of superhigh pressures, dispersed materials and sintering of ceramics, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU; Avtozavodskaya str., 2, Kyiv, Ukraine, 04074; e-mail: barvitskp@gmail.com.

Prikhna Tatiana – Doctor of technical sciences, Corresponding member of the NASU, Professor, Head of the Department of Technologies of High Pressures, Functional Ceramic Composites and Dispersed Superhard Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU; Avtozavodskaya str., 2, Kyiv, Ukraine, 04074; e-mail: prikhna@mail.ru.

Sverdun Vladimir – PhD, senior researcher, Department of Technologies of High Pressures, Functional Ceramic Composites and Dispersed Superhard Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU; Avtozavodskaya str., 2, Kyiv, Ukraine, 04074, e-mail: sverdun@mail.ru.

Moshchil Victor – researcher, Department of Technologies of High Pressures, Functional Ceramic Composites and Dispersed Superhard Materials, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU; Avtozavodskaya str., 2, Kyiv, Ukraine, 04074; e-mail: vik_ism@ukr.net.

Dub Sergiy – doctor of technical sciences, leading researcher, Department of physical-mechanical research and materials nano-testing, V. Bakul Institute for Superhard Materials of NASU; Avtozavodskaya str., 2, Kyiv, Ukraine, 04074; iz@ism.kiev.ua.

Karpets Miroslav – doctor of physical and mathematical sciences, leading researcher, Department of structural chemistry of solid state, Institute for Problems in Material Science of NASU; Ukraine, Krzhizhanovsky str., 3, Kyiv, Ukraine, 03680; e-mail: mkarpets@ukr.net.

Muratov Valeriy – PhD, senior researcher, Department of fine inorganic synthesis, thermodynamics and kinetics of heterophase processes, Institute for Problems in Material Science of NASU; Krzhizhanovsky str., 3, Kyiv, Ukraine, 03680; v.b.muratov@gmail.com.

Vasiliev Olexandr – PhD, senior researcher, Department of fine inorganic synthesis, thermodynamics and kinetics of heterophase processes, Institute for Problems in Material Science of NASU; Krzhizhanovsky str., 3, Kyiv, Ukraine,

УДК 006.91:004.942

І. В. ПРОКОПОВИЧ, М. О. ДУХАНИНА, І. І. СТАНОВСЬКА, Х. ВАЛІД ШЕР, В. В. ДОБРОВОЛЬСЬКА, О. В. ТОРОПЕНКО

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ЩІЛЬНОСТІ ГЕТЕРОГЕННИХ МАТЕРІАЛІВ

Важливим етапом виготовлення гетерогенних матеріалів із суттєвою різницею властивостей окремих компонентів, на якому закладається якість майбутніх виробів, є заповнення рідкою частиною суміші формообразуючої оснастки. Пряме вимірювання щільності виробів кінце необхідне як в системах управління процесом заповнення, так і при технічному контролі. Запропоновано та практично реалізований ємнісний метод вимірювання щільності матеріалів подібного типу.

Ключові слова: гетерогенні матеріали, заповнення оснастки, контроль якості, вимірювання щільності, ємнісний метод.

Важным этапом изготовления гетерогенных материалов с существенной разницей свойств отдельных компонентов, на котором закладывается качество будущих изделий, является заполнение жидкой частью смеси формообразующей оснастки. Прямое измерение плотности изделий крайне необходимо как в системах управления процессом заполнения, так и при техническом контроле. Предложен и практически реализован емкостный метод измерения плотности материалов подобного типа.

Ключевые слова: гетерогенные материалы, заполнение оснастки, контроль качества, измерение плотности, емкостный метод.

An important step in the manufacture of heterogeneous materials with a significant difference of properties of the individual components, which includes the quality of future products, is to fill the liquid part of the mix snap which forms form. Direct density measurement products are extremely necessary as in the management systems process for filling and inspection. Proposed and practically implemented by a capacitive method of measuring the density of materials of this type.

The aim of this work is to improve the quality of production and reduce the percentage of defective products in the manufacture of centrifuged reinforced concrete cylindrical pillars for the supports of high-voltage power lines through the development and implementation of metrological provision for density control of concrete parts such stands electro-capacitive method.

To achieve this goal in the work were put forward and decisions related to the following tasks: the theoretical basis for the capacitive measurement of the density of concrete tubular concrete structures created by measuring the density of the concrete has developed a system of quality control, performed practical testing of research results with positive technical and economic effect.

Keywords: heterogeneous materials, equipment filling, quality control, density measurement, capacitive method.

© І. В. Прокопович, М. О. Духаніна, І. І. Становська, Х. Валід шер, В. В. Добровольська, О. В. Торопенко. 2016

Вступ. Значна кількість продукції сучасних підприємств отримується затвердінням із рідкого (пластмаси) або псевдо рідкого (ливарні форми, бетонні виробы, синтегран) стану. Основним етапом таких технологій є заповнення формуютьорючої оснастки відповідною сумішшю. На цьому етапі створюється не тільки конфігурація та властивості майбутнього виробу, але й закладаються передумови майбутньої якості останнього: щільність, рівномірність розподілу компонентів, наявність або відсутність раковин або макропорожнин і т.п., що потребує від технолога постійного моніторингу за плином заповнення.

Особливо актуальним виглядає такий моніторинг, коли в тілі виробу наявна будь-яка арматура: пруты, пластини, решітки, тощо. Адже вони встановлюються в оснастку до заливання і суттєво йому перешкоджають.

Контролювати процес заливання в цьому випадку особливо важко, особливо тоді, коли в якості, наприклад, залізобетонного виробу виступає великогабаритна опора ЛЕП, гребля ГЕС та інші, габарити яких сягають десятків та сотень метрів. В таких випадках руйнівний контроль готових виробів неприпустимий, а відповідальність за стан залізобетонної продукції дуже висока.

Аналітичний огляд. Після виготовлення арматури та її контролю подальший результат технологічного процесу залежить виключно від якості заповнення оснастки бетоном сумішшю та твердіння останньої. Найголовніший контролюємі параметр, від якого залежать, насамперед, механічні властивості опори, – це щільність бетону в виробі [1, 2].

Проаналізуємо проблему на прикладі технологічного процесу виготовлення залізобетонних опор ЛЕП. Для початку такого аналізу достатньо подивитися, як виглядає готова арматура перед її укладанням в формуютьорючу оснастку (рис. 1).



Рис. 1 – Металева арматура перед заповненням бетоном сумішшю

Зовнішній діаметр такої «клітки» дорівнює приблизно 0,7 м, а густина її решітки може стати на заваді заповнення оснастки бетоном, навіть з урахуванням додаткових до гравітації відцентрових сил.

Безпосереднє вимірювання щільності під час обертання важко здійснювати навіть сучасними методами [3, 4]. Це пов'язано також із тим, що в початковій бетонній суміші присутня вода – електричний провідник, яка може суттєво і непередбачувано впли-

вати на показання приладу, який вимірює електричні характеристики [5].

Найбільш перспективним на перший погляд виглядає ємнісний метод вимірювання, заснований на однозначній відповідності між щільністю матеріалу та його ємністю [6].

Для геометрично ідеальних випадків ємність плоского конденсатора може бути розрахована за формулою [7]:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{l}, \quad (1)$$

ємність циліндричного конденсатора:

$$C = 2\pi\epsilon\epsilon_0 \frac{L}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}, \quad (2)$$

ємність сферичного конденсатора:

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^{-1}, \quad (3)$$

де C – ємність конденсатора, $\Phi; \epsilon$ – відносна діелектрична проникність; ϵ_0 – електрична постійна, $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$; S – площа однієї обкладки, м^2 ; l – відстань між обкладками, м ; L – довжина циліндра, м ; R_1, R_2 – радіуси, відповідно внутрішній та зовнішній, м .

Для конкретного плоского конденсатора значення величини S і l суть постійні, і має місце однозначна залежність між ємністю і діелектричною проникністю простору між його обкладками. Якщо матеріал, що заповнює простір, неоднорідний і являє собою багатозафазну систему, то значення ϵ буде залежати від діелектричної проникності всіх фаз і процентного (масового) їх співвідношення [8].

Якщо в якості заповнювача проміжку між пластинами конденсатора розглядати бетон, сумарна діелектрична проникність останнього буде визначатися проникністю повітря пор і порожнин, зв'язуючого цементу, наповнювальних піску та гравію (тобто величинами постійними в межах даного експерименту) і співвідношенням мас перерахованих компонентів, тобто, в кінцевому підсумку, щільністю даної ділянки виробу.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення якості виробництва та зменшення відсотку бракованих виробів при виготовленні циліндричних залізобетонних центрифугованих стійок для опор високовольтних ліній електропередач шляхом розробки та впровадження метрологічного забезпечення для контролю щільності бетонної частини таких стійок електроємнісним методом.

Для досягнення цієї мети в роботі були висунуті та розв'язані такі задачі: розроблені теоретичні основи ємнісного вимірювання щільності бетону в залізобетонних трубчастих конструкціях, створено стенд для вимірювання щільності бетону, розроблено систему контролю якості продукції, виконані практичні випробування результатів дослідження з позитивним техніко-економічним ефектом.

Розробка теоретичних основ ємнісного вимірювання щільності залізобетону трубчастих конструкцій. Систематичний виробничий контроль щільності бетонної частини залізобетонних виробів ускладнений через відсутність ефективних методів такого контролю без руйнування виробу. Нагадаємо, що довжина опор ЛЕП сягає 20 метрів при діаметрі 0,8 м!

Метод, запропонований в даній роботі, полягає у безпосередньому вимірюванні електричної ємності конденсатора, одна з обкладок якого є поверхня арматури виробу (рис. 1), а друга – поверхню рухомої частини стенду для вимірювання ємності. Такий підхід дозволяє забезпечити відносно стабільні геометричні параметри конденсатора і високу точність вимірювань.

Для тарування вимірювального приладу безпосередньо в розмірності щільності (кг/м³) для конкретних сумішей і конкретних умов вимірювання була виготовлена калібрувальна установка, яка складалася з конденсатора з параметрами: $S = 0,01 \text{ м}^2$; $l = 0,08 \text{ м}$; та вимірювача прецизійного LCR-821; діапазон вимірювання ємності: 0,00001 пФ – 99999 мкФ (рис. 2).

Місткість такої установки складається з вхідної ємності вимірювального приладу $C_{вх}$, ємності сполучних проводів $C_{пр}$ і власне ємності плоского каліброваного конденсатора $C_{к}$:

$$C_y = C_{вх} + C_{пр} + C_{к}. \quad (4)$$

Таблиця 1 – Залежність ємності конденсатора від щільності зразка

№№ зразка	Параметри зразка		Значення параметрів	
	m , кг	d_s , кг/м ³	$C_k \times 10^{12}$, Ф	ϵ
Повітря	–	–	2,21	1,00059
1	1,6224	2028	5,54	2,50831
2	1,6448	2056	5,57	2,52274
3	1,6584	2073	5,77	2,61410
4	1,6736	2092	5,83	2,64134
5	1,6808	2101	5,84	2,64535
6	1,7384	2173	5,9	2,67099
7	1,7552	2194	5,97	2,70465
8	1,7768	2221	6,00	2,71747
9	1,7968	2246	6,05	2,74071
10	1,8200	2275	6,06	2,74710
11	1,8344	2293	6,07	2,74873
12	1,8424	2303	6,11	2,76556
13	1,8664	2333	6,17	2,79360
14	1,9000	2375	6,21	2,81204
15	1,9184	2398	6,27	2,83768
16	1,9496	2437	6,33	2,86493
17	1,9712	2464	6,38	2,88656
18	1,9888	2486	6,43	2,90980
19	2,0136	2517	6,53	2,95548
20	2,0288	2536	6,68	3,02360

Обробка отриманих даних з урахуванням конкретних розмірів калібрувального конденсатора дозволила отримати вираз для обчислювати середню щільність досліджуваного фрагмента бетону, якщо відома ємність конденсатора C , а також площа його обкладок S та відстань між ними l .

$$d = 93 \cdot 10^{12} C l S^{-1} - 774. \quad (5)$$

Достовірність формули підтверджується практичним збігом значень C для випадків розрахунку за формулою (5) при підстановці $d = 0$, $S = 0,01$; $l = 0,02$;



Рис. 2 – Вимірювач RLC прецизійний LCR-821 GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD

Значення $C_{вх}$ і $C_{пр}$ є постійними для конкретного дослідження і визначаються безпосереднім вимірюванням при відключеному конденсаторі. Перед проведенням обчислень величину $C_{вх} + C_{пр}$ віднімали від виміряного значення C_y .

В табл. 1 представлені значення щільності отриманих зразків і обчислені за формулою (4) ємності каліброваного конденсатора, в якому при вимірюванні зразки виконували роль діелектрика.

розрахунком за формулою (4) при підстановці діелектричної проникності повітря $\epsilon_n=1,00059$ і безпосереднім вимірюванням на калібрувальній установці при відсутності між обкладками зразка (табл. 2).

Оцінку похибки вимірювання за рахунок порушення конфігурації конденсатора здійснювали окремо за двома параметрами взаємного розташування обкладок.

Відсоток помилки при неточності в установці відстані між обкладками l на величину Δl визначали за формулою:

$$\frac{\Delta C}{C}(\%) = \frac{100\Delta l}{l + \Delta l}, \quad (6)$$

а відсоток помилки вимірювання від взаємної непаралельності обкладок за формулою:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta C}{C}(\%) &= 100 \left(1 - \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dx}{l + x \operatorname{tg} \alpha} \right) = \\ &= 100 \left(1 - \frac{l \operatorname{ctg} \alpha}{r} \ln \frac{2l + r \operatorname{tg} \alpha}{2l - r \operatorname{tg} \alpha} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

де: r – розмір обкладки в площині перекосу; α – кут між обкладками.

Таблиця 2 – Помилки вимірювання ємності різними методами

Умова визначення	За формулою (4)	За формулою (5)	Безпосереднє вимірювання
Значення C, Φ	$2.217 \cdot 10^{-12}$	$2.199 \cdot 10^{-12}$	$2.21 \cdot 10^{-12}$
% помилки	–	0.81	0.03

Розраховані за формулами (6) та (7) похибки при стандартних допусках на розмір H і кут α навіть по шостого класу точності не перевищують 2–3%.

На жаль, конфігурація реальних обкладок в конденсаторі, створеному на тлі поверхонь внутрішньої арматури, дуже далека від площини, циліндру або сфери (рис. 1). Тому розглянемо обидві його обкладки як деякі криволінійні поверхні, описані функціями вигляду $y_1(x_1^{k1}, x_2^{k2})$ та $y_2(x_1^{k3}, x_2^{k4})$, причому, жодна степінь при аргументах не дорівнює одиниці. Прикладом таких поверхонь можуть служити криволінійні фігури, наведені на рис. 3.

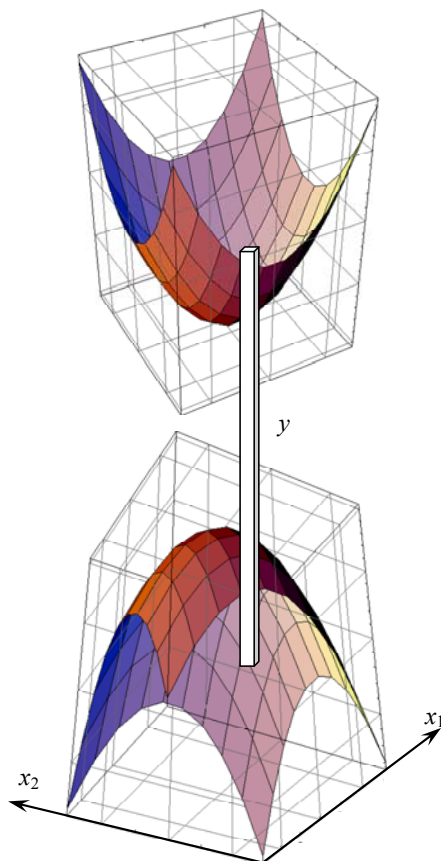


Рис. 3 – Схема до розрахунку електричної ємності між двома криволінійними поверхнями

Хай поверхні $y_1(x_1^{k1}, x_2^{k2})$ та $y_2(x_1^{k3}, x_2^{k4})$, ємність між якими обчислюється, описуються виразами:

$$\begin{cases} y_1 = x_1^2 + x_2^2; \\ y_2 = -x_1^2 - x_2^2 \end{cases} \quad (8)$$

при обмеженнях:

$$x_{1\min} \leq x_1 \leq x_{1\max}; \quad (9)$$

$$x_{2\min} \leq x_2 \leq x_{2\max}. \quad (10)$$

Тоді ємність між цими поверхнями в межах (9) та (10) можна приблизно обчислити як суму ємностей окремих конденсаторів (паралелепіпед на рис. 3). Спрямовуючи розміри x_1 та x_2 цього паралелепіпеда до нуля, отримуємо за допомогою подвійного інтегрування:

$$\begin{aligned} C &= \varepsilon \varepsilon_0 \int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} \int_{x_{2\min}}^{x_{2\max}} \frac{dx_1 dx_2}{|f_1(x_1 x_2) - f_2(x_1 x_2)|} = \\ &= \varepsilon \varepsilon_0 \int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} \int_{x_{2\min}}^{x_{2\max}} \frac{1}{(x_1^2 + x_2^2) - (-x_1^2 - x_2^2)} dx_1 dx_2 = \\ &= \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 \int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} \int_{x_{2\min}}^{x_{2\max}} \frac{1}{(x_1^2 + x_2^2)} dx_1 dx_2, \end{aligned} \quad (11)$$

виходячи з того, що останній подвійний інтеграл в (11) може бути обчислений за допомогою табличного [9, 10]:

$$\int \frac{du}{a^2 + u^2} = \frac{1}{a} \operatorname{arctg} \frac{u}{a} + c. \quad (12)$$

Розробка стенда для вимірювання щільності залізобетону. На жаль, вираз (11), та ще й з врахуванням складностей, які випливають з його розв'язання за допомогою (12) та згаданої вище відмінності поверхні арматури від будь якої функції виду $y_1(x_1^{k1}, x_2^{k2})$, не може бути застосований для розрахунків залежності «ємність – щільність» на кшталт виразу (5). Тому в роботі було зроблено акцент на експериментальному виявленні меж ємності, які відповідає поняттю «якість». Для цього було розроблено та створено спеціальний стенд для вимірювання щільності бетону у великому залізобетонному виробі циліндричної форми (рис. 4).

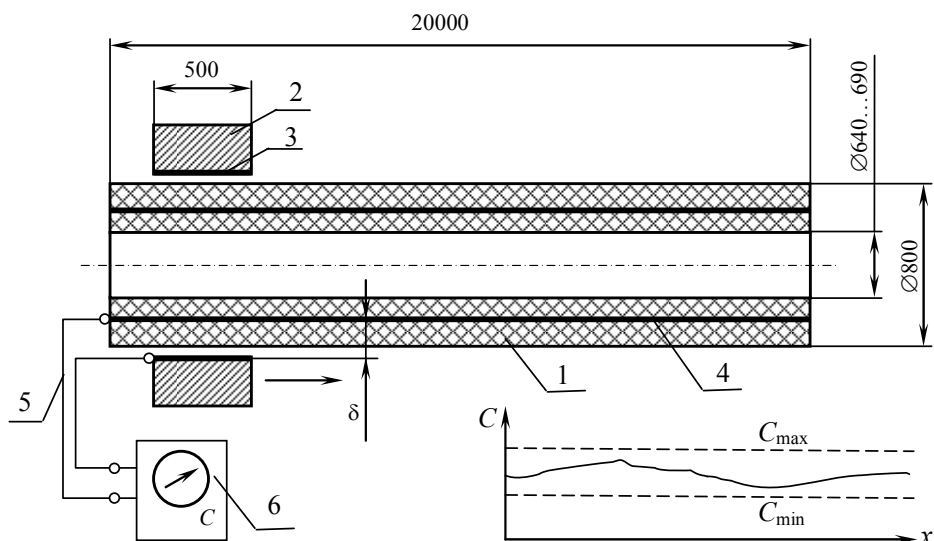


Рис. 4 – Схема станда для вимірювання щільності бетону у великому залізобетонному виробі циліндричної форми

Залізобетонна опора 1 розташовується на столі станду. Вздовж опори співосно рухається пластмасове кільце 2, внутрішня поверхня якого вкрита шаром металу 3. Армура опори 4 і шар 3 утворюють між собою електричний конденсатор, ємність якого вимірюється за допомогою приладу 6.

В міру руху кільця 2 вздовж опори 1 прилад 6 запам'ятовує і виводить користувачеві залежність $C(x)$ (див. рис. 4). Якщо крива $C(x)$ знаходиться в межах між C_{min} та C_{max} , опора вважається такою, що позитивно пройшла випробування на щільність.

Система контролю якості продукції. Технологічний процес виготовлення залізобетонних циліндричних опор для ЛЕП досить складний (рис. 5). Якщо розглядати систему управління якістю однієї окремої опори, то вимірювання проміжних параметрів процесу за допомогою запропонованого методу можна здійснювати на етапі «Заповнення форми бетонною сумішшю», використовуючи описане вище лабораторне устаткування.



Рис. 5 – Схема технологічного процесу виготовлення опор для ЛЕП із елементами вимірювання щільності бетону

Для управління виробництвом серії опор запропонований метод краще використовувати на етапі «Контроль якості», коли опора вже виготовлена повністю, бетон затвердів та висох, і опору можна класти

на вимірювальний стэнд.

Практичні випробування результатів дослідження. Пропоноване метрологічне забезпечення було використано при створенні системи управління технологічним процесом виготовлення виробу «Стойка циліндрична залізобетонна центрифугована для опор високовольтних ліній електропередач напругою 750 кВ» (рис. 6).

Довжина стійок – 20 м, зовнішній діаметр – 0,8 м, внутрішній – 0,63 м. Маса виробу – до 10 т, діаметр армуючої сталі – 0,14 м.



Рис. 6 – Зовнішній вигляд з торця на опору лінії електропередач із 24 армуючими стержнями

Стойки призначені для будівництва високовольтних ліній в будь-яких кліматичних умовах при неагресивному, слабо і середньо агресивному і неагресивному ступеню впливу встановленої проектною документацією згідно зі СНІП 2.03.11-85, а також сейсмічності району будівництва до 9 балів включно. Стойки призначені для будівництва при розрахунковій температурі до мінус 55 °С, згідно СНІП 2.01.07-82 в районах по силі вітру і в районах по товщині стінки

ожеледиці, згідно СНІП 2.01.07-85. Марка бетону по морозостійкості і водонепроникності: нижче мінус 40 °С – F 200 і W 8, мінус 40 °С і вище – F 150 і W 6. Практичні випробування цієї системи на ПАТ «Галенергобудпром» дозволили отримати наступні результати: середня вартість одного придатного виробу знизилася на 13 %, а кількість бракованих виробів знизилася на 23 %.

Обговорення результатів. Результати роботи підтверджують практичну можливість використання ємнісного методу вимірювання щільності окремих складових великих залізобетонних виробів.

Метод може бути застосований при управлінні технологічним процесом виготовлення таких виробів з оберненим зв'язком «по малому колу», коли вимірюються проміжні параметри процесу, а також «по великому колу», коли необхідні для управління дані отримуються на кінцевому етапі останнього.

Висновки. В результаті аналізу залежності «ємність електричного конденсатора – щільність гетерогенного матеріалу між його обкладками» розроблені теоретичні основи ємнісного вимірювання щільності бетону в великих трубчастих залізобетонних конструкціях.

Створено стенд для вимірювання щільності бетону в трубчастих залізобетонних конструкціях великого розміру (до 20 м) із рухомим вздовж такої конструкції електродом, між поверхнею якого та арматурою залізобетону утворюється вимірюваний конденсатор.

Розроблено метод підвищення якості стійок циліндричних залізобетонних центрифугованих опор для високовольтних ліній електропередач у вигляді системи управління параметрами процесу їхнього виготовлення з використанням запропонованих засобів вимірювання.

Пропоноване метрологічне забезпечення було використано при створенні системи управління технологічним процесом виготовлення виробу «Стійка циліндрична залізобетонна центрифугована для опор високовольтних ліній електропередач напругою 750 кВ». Практичні випробування цієї системи на ПАТ «Галенергобудпром» дозволили отримати наступні результати: середня вартість одного придатного виробу знизилася на 13 %, а кількість бракованих виробів знизилася на 23 %.

Список літератури:

1. Снежков, Д. Ю. Анализ методик неразрушающих испытаний бетонных конструкций по действующим государственным стандартам и нормам Евросоюза [Текст] / Д. Ю. Снежков, С. Н. Леонович, А. В. Возницук // Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 33–39.
2. Улыбин, А. В. Методы контроля параметров армирования железобетонных конструкций [Текст] // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 1(27). – С. 4–13.

3. Калюжный, А. В. Исследование методов контроля скрытых пустот различными способами [Текст] / А. В. Калюжный, // АСАУ. – 2007. – № 10 (30). – С. 54–62.
4. Бербеков Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона [Текст] / Бербеков Ж. В. // Молодой ученый. – 2012. – № 11. – С. 20–23.
5. Гольдштейн, А. Е. Отстройка от влияния изменения электропроводности воды на результаты технологического контроля погонной емкости электрического кабеля [Текст] / А. Е. Гольдштейн, Г. В. Вавилов // Ползуновский вестник. Приборы и методы контроля. – 2013. – № 2. – С. 150–154.
6. Становский, А. Л. Неразрушающий метод измерения плотности фрагментов песчаных литейных форм [Текст] / А. Л. Становский, И. В. Прокопович, М. А. Духанина // Информационный журнал передовых технологий. – Херсон, 2013 – № 4 (5). – С. 104–110.
7. Измерение параметров конденсаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zpostbox.ru/izmerenie_parametrov_kondensatorov.%20html
8. Оборский, Г. А. Выбор метрологического обеспечения управления сложными объектами литейного производства с трудноизмеримыми параметрами [Текст] / Г. А. Оборский, А. Л. Становский, И. В. Прокопович, М. А. Духанина // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. – Харьков, 2014. – № 6/3 (72). – С. 41 – 47. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/32420/30972>
9. Бубняк, Т. І. Вища математика [Текст] / Т. І. Бубняк. – Львів: Новий світ, 2009. – 436 с.
10. Усов, А. В. Диференціальне та інтегральне числення функцій багатьох змінних [Текст] / А. В. Усов, В. М. Кузьміна, Т. М. Олех. – Одеса: Астропринт, 2007. – 245 с.

Bibliography (transliterated):

1. Snezhkov, D. Yu., Leonovich, S. N., Voznischik, A. V. (2013). Analiz metodik nerazrushayuschih ispytaniy betonnykh konstruktsey po deystvuyushchim gosudarstvennyim standartam i normam Evrosoyuza. Stroitelstvo i arhitektura, 2, 33 – 39.
2. Ulybin, A. V. (2012). Metody kontrolya parametrov armirovaniya zhelezobetonnnykh konstruktsey. Inzhenerno-stroitelnyiy zhurnal, 1(27), 4–13.
3. Kalyuzhnyiy, A. V. (2007). Issledovanie metodov kontrolya skrytykh pustot razlichnyimi sposobami. ASAU, 10(30), 54–62.
4. Berbekov, Zh. V. (2012). Nerazrushayushchie metody kontrolya prochnosti betona. Molodoy uchenyy, 11, 20–23.
5. Goldshteyn, A. E., Vavilov, G. V. (2013). Otsroyka ot vliyaniya izmeneniya elektroprovodnosti vody na rezultaty tehnologicheskogo kontrolya pogonnoy emkosti elektricheskogo kabelya. Polzunovskiy vestnik. Rezel 4. Pribory i metody kontrolya, 2, 150–154.
6. Stanovskiy, A. L., Prokopovich, I. V., Duhanina, M. A. (2013). Nerazrushayushchiy metod izmereniya plotnosti fragmentov peschanykh liteynykh form. Zbirnyk naukovykh prats. «Informatsiyni tehnologiyi v osviti, nautsi ta virobniitvi», 4(5), 104 – 110.
7. Izmerenie parametrov kondensatorov (2017). Avialable at: http://zpostbox.ru/izmerenie_parametrov_kondensatorov.%20html
8. Oborskiy, G. A., Stanovskiy, A. L., Prokopovich, I. V., Duhanina M. A. (2014). Vyibor metrologicheskogo obespecheniya upravleniya slozhnyimi ob'ektami liteynogo proizvodstva s trudnoizmerimymi parametrami. Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy. Informatsionnyie tehnologii, 6(3(72)), 41–47. Avialable at: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/32420/30972>
9. Bubnyak, T. I. (2009). Vischa matematika. Lviv: Noviy svit, 436.
10. Usov, A. V., Kuzmina, V. M., Olex, T. M. (2007). Diferentsialne ta shntegralne chisleniya funktsiy bagatoh zminnykh. Odesa: Astroprint, 245.

Надійшла (received) 14.12.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Метрологічне забезпечення контролю щільності гетерогенних матеріалів / І. В. Прокопович, М. О. Духаніна, І. І. Становська, Х. Валід Шер, В. В. Добровольська, О. В. Торопенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 50(1222). – С.22–28. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Метрологическое обеспечение контроля плотности гетерогенных материалов/ И. В. Прокопович, М. А. Духанина, И. И. Становская, Х. Валид Шер, В. В. Добровольская, А. В. Торopenko// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 50(1222). – С.22–28. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Metrological assurance of control density heterogeneous materials/ I. Prokopovich, M. Duhanina, I. Stanovska, H. Walid Sher, V. Dobrovolska, O. Toropenko//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 50 (1222).– P.22–28 . – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прокопович Ігор Валентинович – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри технології та управління ливарними процесами, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: igor.prokopovich@gmail.com.

Духаніна Маріанна Олександрівна – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри технології та управління ливарними процесами; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: marianna.dukhanina@gmail.com.

Становська Іраїда Іванівна – Одеський національний політехнічний університет, кандидат технічних наук, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем, 65044, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: iraidasweet07@rambler.ru.

Хусайн Валид Шер – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: walidsher@hotmail.com

Добровольська Вікторія Віталіївна – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: dlv5@ukr.net.

Торopenko Олексій Вікторович – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: alexey.toropenko@geomoras.net.

Прокопович Ігор Валентинович – доктор технических наук, доцент, Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры технологии и управления литейными процессами, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: igor.prokopovich@gmail.com.

Духанина Марианна Александровна – Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры технологии и управления литейными процессами; пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: marianna.dukhanina@gmail.com.

Становская Ираида Ивановна – Одесский национальный политехнический университет, кандидат технической наук, доцент кафедры высшей математики и моделирования систем, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: iraidasweet07@rambler.ru.

Хусайн Валид Шер – Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: walidsher@hotmail.com

Добровольская Виктория Виталиевна – Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: dlv5@ukr.net.

Торopenko Алексей Викторович – Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: alexey.toropenko@geomoras.net.

Prokopovich Igor – Doctor of technical sciences, associate professor, Odessa National Polytechnic University, associate professor of the department of technology and foundry process control, Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine, 65044; e-mail: igor.prokopovich@gmail.com.

Marianna Duhanina – Postgraduate, Odessa National Polytechnic University, department of technology and management foundry process; Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine, 65044; e-mail: marianna.dukhanina@gmail.com.

Stanovskaya Iraida – Candidate of technical science, Odessa National Polytechnic University, associate professor of the department of mathematics High society and modeling systems, Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine, 65044; e-mail: iraidasweet07@rambler.ru.

Hussain Valid Sher – Postgraduate, Odessa National Polytechnic University, Department of oil and gas and chemical engineering, Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine, 65044; e-mail: walidsher@hotmail.com

Dobrovolska Victoria – Postgraduate, Odessa National Polytechnic University, Department of oil and gas and chemical engineering, Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine, 65044; e-mail: dlv5@ukr.net.

Toropenko Olexiy – Postgraduate, Odessa National Polytechnic University, Department of oil and gas and chemical engineering, Shevchenko ave., 1, Odesa, Ukraine, 65044; e-mail: alexey.toropenko@geomoras.net.