

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

## **ВІСНИК**

### **НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

*Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»*

№ 50(122)2016

Збірник наукових праць

Видання засноване в 1961 р.

Харків  
НТУ «ХПІ», 2016

**Вісник Національного технічного університету «ХПІ».**Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ „ХПІ” – 2016р. – No50(1222) – 154 с.

**Державне видання**

**Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України**

**КВ No5256 від 2 липня 2001 року**

Мова статей – українська, російська, англійська.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого рішенням Атестаційної колегії МОН України щодо діяльності спеціалізованих вчених рад, від 15 грудня 2015р. Наказ № 1328 (додаток 8) від 21.12.2015р.*

**Координаційна рада:**

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.; Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Грабчєнко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. Тимофієв, д-р техн. наук, проф.; М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

**Редакційна колегія серії:**

**Відповідальний редактор:** Дьомін Д. О., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;

**Заст. відповідального редактора:** Акімов О. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків,

**Відповідальний секретар:** Пензєв П. С., НТУ «ХПІ»;

**Члени редколегії:** Березуцький В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дмитрік В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дудніков А. А., канд. техн. наук, ПДАА, Полтава, Заблоцький В. К., д-р техн. наук, ДДМА, Краматорськ, Заміховський Л. М., д-р техн. наук, ІФТУНГ, Івано-Франківськ, Євстратов В. О., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Погрібний М. А., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Пономаренко О. І., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Соболев О. В., д-р фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Шоман О. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Jozef Voynarovsky, проф., Сілезького політехнічного інституту, Польща, Rab Nawaz Lodhi, проф. Bahria University Islamabad Pakistan, Пакистан, Меркер Е. Е., д-р техн. наук, проф., Старооскольський технологічний інститут – філія Національного дослідницького технологічного інституту «Московський інститут сталі і сплавів», Росія

*У 2015 р. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси», включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)***

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ”

Протокол № 12 від «08» грудня 2016 р.

## ЗМІСТ

<b>Миронюк О. В., Дудко В. А., Баклан Д. В., Смольниченко К. О.</b> Дослідження взаємозв'язку між енергією поверхні волокнистих наповнювачів та міцністю полімерних композицій на їх основі.....	3
<b>Лутчин М. М.</b> Математичні моделі гістерезису .....	8
<b>Барвицкий П. П., Прихна Т. А., Свердун В. Б., Моциль В. Е., Дуб С. Н., Карпец М. В., Муратов В. Б., Васильев А. А.</b> Синтез, спекание, структура и свойства материалов на основе $AlB_{12}C_2$ .....	14
<b>Прокопович І. В., Духаніна М. О., Становська І. І., Валід Шер Х., Добровольська В. В., Торopenко О. В.</b> Метрологічне забезпечення контролю щільності гетерогенних матеріалів.....	22
<b>Василюк С. В., Мягченко Ю. А.</b> Вивчення контрольованого електронного переносу крізь одиночну органічну молекулу .....	29
<b>Задорожний П. С.</b> Моделювання проходження світла через напівпрозорі середовища.....	36
<b>Ходаковський О. В., Амелін М. Ю., Сметанкін С. О., Акімов, О. В. Яцюк В. М.</b> Дослідження впливу парааміноазобензолу на адгезійні властивості епоксидної матриці для захисних покриттів засобів транспорту.....	42
<b>Леонтьева В. В., Кондратьева Н. А.</b> Исследование чувствительности в некотором классе сложных динамических систем .....	47
<b>Бакулевський В. Л.</b> Тестування програмного забезпечення розрахунку технічних втрат електроенергії в повітряних лініях електропередач напругою 6-35 кВ.....	55
<b>Сачанюк-Кавецька Н. В.</b> Підвищення ефективності обробки інформації для ідентифікації суб'єктів в системах контролю доступу за допомогою перетворення Фур'є.....	63
<b>Єрьоміна Н. С., Сотніков О. М., Таршин В. А.</b> Формування вирішальної функції кореляційно-екстремальних систем навігації за критерієм максимуму узагальненого коефіцієнта взаємної кореляції.....	68
<b>Адоньєв Є. О., Верещага В. М., Лисенко К. Ю.</b> Розробка узагальненої техніки алгебраїчного формування Б-функцій для трьох точок.....	74
<b>Білошицька О. К.</b> Нелінійна динаміка як інструмент прогнозування патологічних змін на електроенцефалограмі.....	79
<b>Тітомир, Л. А. Данилова О. І.</b> Досвід впровадження соціальних інновацій в готелях Одеси і області.....	84
<b>Маркін М. О., Маркіна О. М., Кушовий С. М., Бутенко К. О.</b> Контроль геометричних розмірів зондів для атомно-силової мікроскопії інформаційно-виміральною системою .....	90
<b>Москалец Н. В.</b> Анализ влияния ограниченной при реализации методов пространственно-временного доступа .....	95
<b>Лларіонов О. Є., Лларіонова Н. М., Сорока П. М.</b> Застосування теорії свідчень у адаптивних курсах корпоративних систем дистанційного навчання.....	100
<b>Сорока П. М., Лларіонов О. Є.</b> Вирішення проблем прийняття рішень в умовах невизначеності за допомогою дерева рішень.....	106
<b>Оксюк О. Г., Шестак Я. В., Огбу Д. О.</b> Побудова безпечної інформаційної інфраструктури як необхідність виживання .....	112
<b>Орендарчук Ю. В., Красноухова А. А., Ачкасов І. О., Барсук А. С., Головка В. І.</b> Оптимізація складу формувальних сумішей для автоматизованого виробництва литих деталей двигунів внутрішнього згорання.....	117
<b>Некрасов А. В., Чорна В. О., Кас'янов Є. М.</b> Контроль температурних режимів та охолодження тягових двигунів електротехнічних комплексів в процесі експлуатації.....	122
<b>Школьна О. В., Кишенько В. Д., Ладанюк А. П.</b> Прогнозування динаміки споживання вторинної пари з випарної установки .....	127
<b>Мельничук О. В.</b> Розробка математичної моделі оцінки зон критичних внутрішніх напружень в формотворчих деталях стигнального штампа.....	133
<b>Безрук З. Д., Радов Д. Г., Маслов В. П., Дорожинський Г. В., Дорожинська Г. В., Конченко А. В.</b> Дослідження закономірностей очищення водопровідної води методом виморожування.....	137
<b>Колесник В. Є., Павличенко А. В.</b> Оцінка ефективності реалізації природоохоронних заходів на вугільних шахтах.....	142
<b>Пуляев А. А., Золотарева А. В., Чумаченко В. І., Богдан В. В., Белик М. М.</b> Результати комп'ютерного моделювання процесу формування литого поршню для двигунів внутрішнього згорання.....	147

## CONTENTS

<b>Myronyuk O., Dudko V., Baklan D., Smolnychenko K.</b> Investigation of the relationship between the surface energy of fibrous fillers and the strength of polymer compositions based on them.....	3
<b>Lutchyn M.</b> Mathematical models histeresys.....	8
<b>Barvitskiy P., Prikhna T., Sverdun V., Moshchil V., Dub S., Karpets M., Muratov V., Vasiliev O.</b> Structure and properties of $AlB_{12}C_2$ -based materials.....	14
<b>Prokopovich I., Duhanina M., Stanovska I., Walid Sher H., Dobrovolska V., Toropenko O.</b> Metrological assurance of control density heterogeneous materials.....	22
<b>Vasylyuk S., Myahchenko Y.</b> Controlled study of electron transport through single organic molecule.....	29
<b>Zadorozhnyi P.</b> Modeling the passage of light through semitransparent media.....	36
<b>Khodakovskiy A., Amelin M., Smetankin S., Akimov A., Yatsyuk V.</b> Investigation of the effect of paraaminoazobenzene on the adhesion properties of epoxy matrix for protective coatings of vehicles.....	42
<b>Leontieva V., Kondratieva N.</b> Research the Sensitivity of Certain Class of Complex Dynamical Systems.....	47
<b>Bakulevskiy V.</b> Software testing calculation of technical losses in electricity overhead lines with voltage 6-35 kV.....	55
<b>Sachaniuk-Kavets'ka N.</b> Improving the efficiency of information processing for the identification of subjects in access control systems with the help of Fourier transform.....	63
<b>Eremina N., Sotnikov A., Tarshyn V.</b> Creating a decision function correlation-extreme systems navigation on generalized criterion of maximum cross-correlation coefficient.....	68
<b>Adoniev Y., Vereshchaga V., Lysenko K.</b> Development of a generalized technique for the algebraic formation of B-functions for three points.....	74
<b>Biloshytska O.</b> Nonlinear Dynamics as Instruments for Prediction of Pathological Changes in the Electroencephalogram.....	79
<b>Titimir L., Danylova O.</b> Implementation experience of social innovations in hotels of Odessa and Odessa region.....	84
<b>Markin M., Markina O., Kushchovi S., Butenko K.</b> Control of geometric sizes atomic force microscopy probe for information-measuring system.....	90
<b>Moskalets M.</b> Analysis of influence implementation methods restricted spatial-time access.....	95
<b>Ilarionov O., Ilarionova N., Soroka P.</b> Evidence theory in adaptive corporate e-learning systems.....	100
<b>Soroka P., Ilarionov O.</b> The solving of problems of decision making under uncertainty using decision tree.....	106
<b>Oksiuk A., Shestak Y., Ogbu J.</b> Building a secure information infrastructure as a necessity for survival.....	112
<b>Orendarchuk Y., Krasnoukhova A., Achkasov I., Barsuk A., Holovko V.</b> Optimization of molding compounds for computer-cast parts of internal combustion engines.....	117
<b>Nekrasov A., Chorna V., Kasyanov E.</b> Controlling temperature and cooled traction motors electrical systems during operation.....	122
<b>Shkolna O., Kyshenko V., Ladanyuk A.</b> Predicting of secondary steam consumption dynamics at the evaporator state.....	127
<b>Melnychuk O.</b> Development of mathematical model evaluation of critical areas internal stresses in the molding details bending dies.....	133
<b>Bezruk Z., Radov D., Maslov V., Dorozinsky G., Dorozinska G., Konchenko A.</b> Investigation of water treatment by freezing method.....	137
<b>Kolesnyk V., Pavlychenko A.</b> Efficiency Assessment for Nature Protection Measures Implementation on Coal Mines.....	142
<b>Dymko I., Zolotareva A., Chumachenk V. o., Bohdan V., Bielik M.</b> A computer simulation FORMATION OF cast pistons for internal combustion engines.....	147

**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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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; [lz@ism.kiev.ua](mailto:lz@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](mailto:mkarpets@ukr.net).

**Murатов 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](mailto: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. ДУХАНІНА, 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 конче 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.

**Вступ.** Значна кількість продукції сучасних підприємств отримується затвердінням із рідкого (пластмаси) або псевдо рідкого (ливарні форми, бетонні вироби, синтегран) стану. Основним етапом таких технологій є заповнення формують формують 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 макророжнин 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: прутки, 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 контролюємий 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 формують формують 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;  $\epsilon_0$  – 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,  $\text{м}^2$ ;  $l$  – відстань між обкладками,  $\text{м}$ ;  $L$  – довжина циліндра,  $\text{м}$ ;  $R_1, R_2$  – радіуси, відповідно внутрішній та зовнішній,  $\text{м}$ .

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 багатофазну систему, то значення  $\epsilon$  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 – поверхнею 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/м<sup>3</sup>) 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	$d$ , кг/м <sup>3</sup>	$C_k \times 10^{12}$ , Ф	$\epsilon$
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 вимірюваного 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  $\epsilon_{п}=1,00059$  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  $\Delta l$  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;  $\alpha$  – кут між обкладками.

Таблиця 2 – Помилки вимірювання ємності різними методами

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

Розраховані за формулами (6) та (7) похибки при стандартних допусках на розмір  $H$  і кут  $\alpha$  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.

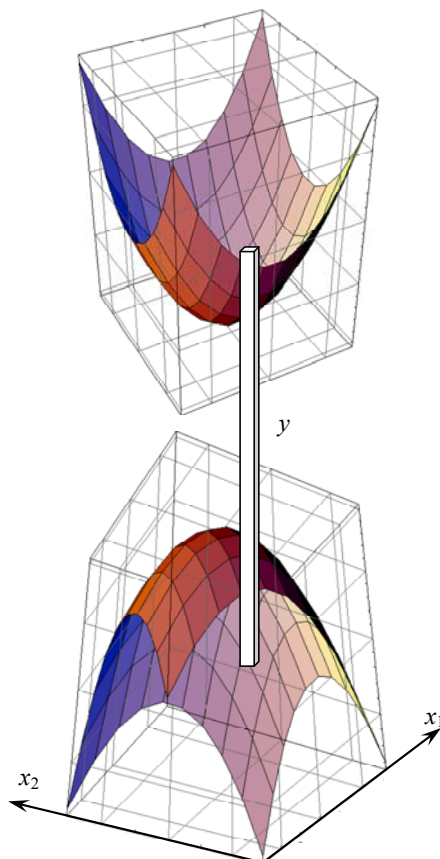


Рис. 3 – Схема до розрахунку електричної ємності між двома криволінійними поверхнями

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).



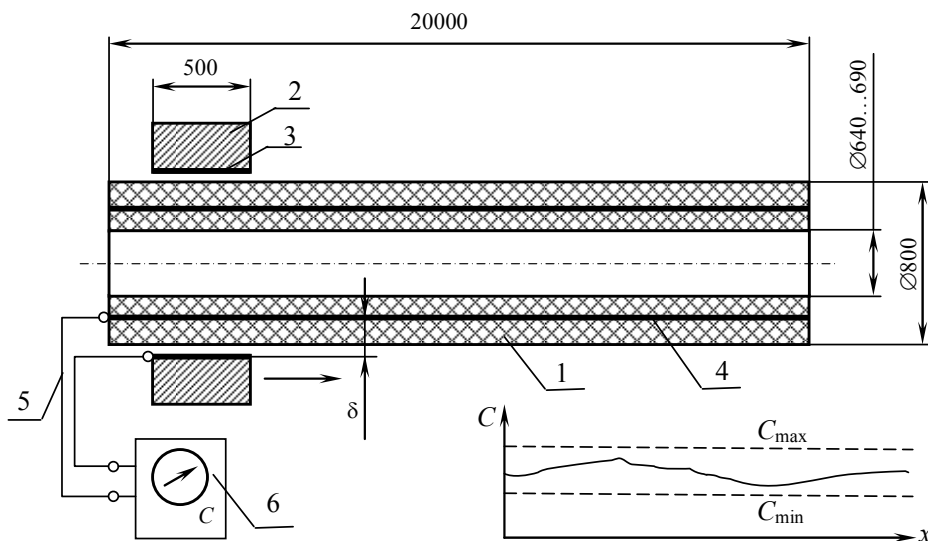


Рис. 4 – Схема станда для вимірювання щільності бетону у великому залізобетонному виробі циліндричної форми

Залізобетонна опора 1 розташовується на столі станду. Вздовж опори співісно рухається пластмасове кільце 2, внутрішня поверхня якого вкрита шаром металу 3. Армуатура 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 стенд.

**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 електропередачання із 24 армуючими стрижнями

Стойки призначені для будівництва високовольтних ліній в будь-яких кліматичних умовах при неагресивному, слабо і середньо агресивному і неагресивному ступеню впливу встановленою 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. Возницкий // 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 // Информационные технологии в образовании, науке и производстве. – Херсон, 2013 – № 4 (5). – С. 104–110.
7. Измерение параметров конденсаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://zpostbox.ru/izmerenie\\_parametrov\\_kondensatorov.%20html](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/eejet/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. Snehkov, D. Yu., Leonovich, S. N., Voznischik, A. V. (2013). Analiz metodik nerazrushayuschih ispytaniy betonnykh konstruktсий po deystvuyushchim gosudarstvennyim standartam i normam Evrosoyuza. Stroitelstvo i arhitektura, 2, 33 – 39.
2. Ulyubin, A. V. (2012). Metody kontrolya parametrov armirovaniya zhelezobetonnykh konstruktсий. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, 1(27), 4–13.
3. Kalyuzhnyi, A. V. (2007). Issledovanie metodov kontrolya skrytyih 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). Ostroyka 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 virobnitstvi», 4(5), 104 – 110.
7. Izmerenie parametrov kondensatorov (2017). Avialable at: [http://zpostbox.ru/izmerenie\\_parametrov\\_kondensatorov.%20html](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/eejet/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 integralne chislennya funktsiy bagatoh zminnhh. 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. 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.

**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](mailto: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](mailto:marianna.dukhanina@gmail.com).

**Становська Іраїда Іванівна** – Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри вищої математики та моделювання систем, 65044, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: [iraidasweet07@rambler.ru](mailto:iraidasweet07@rambler.ru).

**Хуссєїн Валід Шер** – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: [validsher@hotmail.com](mailto:validsher@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](mailto:dlv5@ukr.net).

**Прокопович Ігорь 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](mailto: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](mailto:marianna.dukhanina@gmail.com).

**Становская Ираида Ивановна** – Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры высшей математики и моделирования систем, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: [iraidasweet07@rambler.ru](mailto:iraidasweet07@rambler.ru).

**Хуссєїн Валід Шер** – Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения, пр. Шевченка, 1, г. Одесса, Украина, 65044; e-mail: [validsher@hotmail.com](mailto:validsher@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](mailto:dlv5@ukr.net).

**Торопенко 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](mailto:alexey.toropenko@geomoras.net).

**Торопенко Алексей Викторович** – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: [alexey.toropenko@geomoras.net](mailto: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](mailto: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](mailto:marianna.dukhanina@gmail.com).

**Stanovskaya Irada** – 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](mailto: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: [validsher@hotmail.com](mailto:validsher@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](mailto: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](mailto:alexey.toropenko@geomoras.net).

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХПІ"**

**Збірник наукових праць**

Серія:

Механіко-технологічні системи та комплекси

№ 50(1222) 2016

Наукові редактори: д-р техн. наук, проф. Д. О. Дьомін  
д-р техн. наук, проф. О. В. Акімов  
Технічний редактор П. С. Пензев

Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г. Б. Обухова

**АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:** 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».  
Кафедра ливарного виробництва.  
Тел. (057) 707-68-54; e-mail: c7508990@gmail.com

Обл.-вид. №16-16

Підп. до друку 14.12.2016р. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі  
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 8. Облік.вид.арк. 8,75.  
Наклад 100 прим. Зам. № 32-16. Ціна договірна

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи  
ДК №3657 від 24.12.2009  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня "Технологічний Центр"  
Свідоцтво про державну реєстрацію №1 480 120 0000 021055 від 02.04.2002  
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова дача,4, тел. (057)750-89-90